



**ARMINDO JOSÉ
PEREIRA PINTO
SOARES**

**Heurística de programação da produção para uma
indústria cerâmica**



**ARMINDO JOSÉ
PEREIRA PINTO
SOARES**

**Heurística de programação da produção para uma
indústria cerâmica**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família pelos valores que me inculcaram e me permitiram obter a identidade de que hoje usufruo.

o júri

presidente

Prof^a. Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof^a. Doutora Vera Lúcia Miguéis Oliveira e Silva
Professora auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof^a. Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço à minha família, com especial gratidão aos meus pais, por me terem proporcionado as condições que me permitiram trilhar o percurso académico que com este trabalho termino.

Um especial agradecimento à Professora Doutora Carina Pimentel, ao Engenheiro Daniel Oliveira e ao Guilherme Tedim, pelos conhecimentos transmitidos, pelo apoio, disponibilidade e preciosa orientação neste trabalho.

Expresso a minha gratidão para com as instituições envolvidas na minha formação académica e profissional, nomeadamente a Universidade de Aveiro e a Grés Panaria Portugal, S.A. e todos quantos nelas colaboram.

Por último, mas sem menos relevo, fica o agradecimento aos amigos que me assistem na adversidade e comigo festejam na glória.

palavras-chave

Programação da produção; problemas com capacidade limitada, sequenciamento, máquinas paralelas, *setup* de família, telhas cerâmicas.

resumo

Atualmente, uma organização industrial com vista a singrar no mercado global é fortemente influenciada por pressões que visam o aumento da eficiência global e consequente redução de custos operacionais. O desafio para as mesmas passa, portanto, por expurgar do produto tudo aquilo que não lhe acrescenta valor perceptível pelo cliente e por maximizar a utilização dos vários recursos industriais instalados. No seguimento deste desafio, surge o Problema de Planeamento e Programação da Produção, ao qual é necessário dar uma resposta eficiente.

Este projeto tem como objetivo estudar o problema da Programação da Produção numa indústria de pavimentos e revestimentos cerâmicos, desenvolvendo uma heurística construtiva capaz de traduzir com fiabilidade a realidade do processo produtivo da mesma e, se possível, auxiliar na sua resolução. O problema da programação da produção em estudo visa responder às questões: o quê, em que quantidade, quando e em que linha produzir, por forma a satisfazer as necessidades dos clientes num prazo previamente estipulado como admissível, garantindo o enchimento dos fornos ligados. Sem grandes constrangimentos ao normal labor da Produção, pretende obter-se com a heurística planos de produção viáveis, que minimizem o tempo necessário para a conclusão do conjunto de referências com necessidades produtivas.

O problema é também abordado através de um modelo exato como um problema de máquinas paralelas idênticas capacitado, com matriz de compatibilidades, *setups* de família e de subfamília e com lotes mínimos de produção.

Quer a heurística quer o modelo de programação inteira mista desenvolvidos permitem obter planos de produção válidos, equivalentes aos obtidos atualmente pela empresa através dos meios de programação atuais, embora com um dispêndio de tempo muito inferior.

keywords

Scheduling problems, finite capacity problems, sequencing, parallel machines, family setups, ceramic tiles.

abstract

Currently, an industrial organization in order to succeed in the global market is strongly influenced by pressures aimed at increasing the overall efficiency and reducing of their operating costs. The challenge for them is, therefore, to purge all that does not add discernible value to the product in perception of the customer and maximize utilization of the installed industrial resources. Following this challenge, there is the problem of Production Planning and Scheduling, which demands an effectively response. This project aims to study the problem of Production Scheduling in the flooring and ceramic tiles industry, developing a constructive heuristic able to reliably translate the reality of the production process and, if possible, assist in it's resolution. The problem of production scheduling in study aims to answer the questions: what, in what quantity, when and on which line to produce in order to meet customer needs within a previously stipulated acceptable time, ensuring the filling of connected furnaces. With no major constraints to the normal work flow, the heuristic aims to obtain viable production plans that minimize the production time required to complete the set of products needed. The problem is also addressed with an exact method as a problem of parallel identical capable machines, with compatibility matrix, with family and subfamily setups, and with minimum production batch sizes. Both the heuristic and the MIP model developed allows obtaining valid production plans, currently equivalent to those obtained currently by the company through the current programming means, although with a much lower time expenditure.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Contextualização do trabalho.....	1
1.2 Principais objetivos e contributos deste trabalho.....	2
1.3 Metodologia adotada.....	3
1.4 Estrutura	5
2. Revisão da literatura	7
2.1 Programação da produção.....	7
2.2 Problemas de programação da produção	7
2.3 Programação de máquinas paralelas.....	8
2.4 Programação com tempos de <i>setup</i>	10
2.5 Programação determinística através de abordagens heurísticas	11
2.6 Planeamento mestre da produção – Master Production Scheduling (MPS) ...	13
3. Apresentação da empresa	15
3.1 PanariaGroup Industrie Ceramiche, S.P.A.	15
3.2 Grés Panaria Portugal, S.A.	16
3.3 Apresentação do processo produtivo da Love Tiles	17
3.3.1 Preparação de pastas.....	19
3.3.2 Preparação de vidros.....	21
3.3.3 Prensagem	23
3.3.4 Linhas de vidrar	25
3.3.5 Cozedura / Fornos.....	27
3.3.6 Corte e Retificação	29
3.3.7 Escolha e embalamento	29

3.3.8	Laboratório	31
4.	Apresentação do trabalho desenvolvido	33
4.1	Apresentação do projeto	34
4.1.1	Caracterização do problema e tratamento inicial	37
4.1.2	Modelo de programação inteira mista (PIM)	38
4.1.3	Heurística construtiva	43
4.2	Resultados obtidos e comparação de ambos os métodos de programação ...	54
5.	Conclusão e trabalhos futuros	57
	Referências bibliográficas	59
	Anexos	63
	Anexo A - Instâncias de referências.....	64
	A1. Instância pequena.....	64
	A2. Instância grande	65
	Anexo B - Planos de produção	66
	B.1. Plano de produção “heurístico” para a instância pequena.....	66
	B2. Plano de produção “ótimo” para a instância pequena	67
	B3. Plano de produção “heurístico” para a instância grande.....	68
	B4. Plano de produção “ótimo” para a instância grande	69

Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura do Panaria Group Industrie Ceramiche S.P.A.	15
Figura 2 - Logotipos das duas marcas principais	17
Figura 3 - Esquema da sequência do processo produtivo.....	18
Figura 4 - Atomizador de pó cerâmico	21
Figura 5 - Armazém de material vítreo.....	23
Figura 6 - Máquina de coloração por tecnologia Rotocolor	26
Figura 7 - Campânula de aplicação de vidro.....	26
Figura 8 - AGV - Veículo de transporte de boxes.....	27
Figura 9 - Forno cerâmico.....	28
Figura 10 - Robot de formação de paletes	30
Figura 11 - Anel de Buller	31
Figura 12 - Menu da heurística	48
Figura 13 - Exemplo de visualização de lista de referências por cor	49
Figura 14 - Fluxograma do procedimento de verificação de capacidade dos fornos ...	52
Figura 15 - Aspeto gráfico dos planos de produção impressos pela heurística	53
Figura 16 - Características principais das instâncias consideradas.....	55
Figura 17 - Indicadores de comparação de soluções	55

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Simbologia das cores atribuídas às referências	46
---	----

Lista de Abreviaturas

MPS – Master Production Scheduling

MRP – Material Requirements Planning

MRPII – Manufacturing Resource Planning

EDD – Earliest Due Date

SPT – Shortest Processing Time

LPT – Longest Processing Time

FIFO – First In First Out

FCS – Finite Capacity Scheduling

PPP – Problema de Programação da Produção

PP – Programação da Produção

PIM – Programação Inteira Mista

GPP – Grés Panaria Portugal

Glossário

Grés – mistura de sedimentos cerâmicos utilizada na produção de peças cerâmicas para posterior utilização em pavimentos e revestimentos de superfícies.

Monoporosa - mistura de sedimentos cerâmicos utilizada na produção de peças cerâmicas para posterior utilização em revestimentos de superfícies.

Core Business – parte central de um negócio de uma organização definido em função da estratégia da mesma.

Rebranding - nome que se dá ao processo de criação de um novo nome, logótipo, identidade (visual ou sonora) ou a combinação de todos estes elementos de uma determinada marca.

Pensamento *Lean* – sistema de gestão cujo objetivo é desenvolver os processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios em todas as suas fases, bem como tempos de espera elevados (Pinto, 2008).

Just-in-time – filosofia de gestão da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes do momento da sua necessidade.

1. Introdução

1.1 Contextualização do trabalho

A Revolução Industrial foi uma das bacias hidrográficas mais célebres da história da humanidade (Allen, 2009). A produção até então caracterizada pelo trabalho artesanal e manual de artesãos, que dominavam as diferentes etapas dos processos de produção e comercialização dos produtos, foi alvo de uma forte reestruturação. A ânsia de maiores lucros, menores custos e produção mais rápida, dos burgueses da época, aliada ao aumento da procura que o crescimento da população despoletou, criaram a necessidade de romper com os dogmas de então. A atividade produtiva passou a ser desempenhada em fábricas, por intermédio de operários e máquinas que, entretanto surgiram e, reduziram a dependência da força de trabalho humano na produção. Apesar dos vários problemas sociais que a revolução gerou, os métodos de produção tornaram-se mais eficientes, passando os produtos a serem disponibilizados ao cliente mais rapidamente e a um custo inferior, estimulando desta forma o consumo.

Mais tarde o crescimento de uma sociedade com fortes orientações capitalistas, aliada à globalização dos mercados, incitaram a rivalidade entre as empresas e despertaram os seus gestores para a importância que a diferenciação assume na competitividade das mesmas. Segundo a visão estratégica do produto de Porter (2008) uma empresa pode distinguir-se no mercado de duas formas: pelo preço ou pela diferenciação do seu produto. Com a quantidade de concorrentes atualmente a operar no mercado global, a forte rivalidade entre eles e crescente grau de exigência dos clientes, torna-se impreterível focar a produção na criação de valor nitidamente perceptível e valorizado pelo cliente. Isto porque, atualmente os clientes procuram diversidade, qualidade e rapidez na resposta às suas pretensões e necessidades, tudo isto ao menor custo possível.

Torna-se, portanto, inevitável para uma organização, agilizar as operações definindo uma estratégia que aborde as vantagens da flexibilidade para se adaptar e prosperar em ambientes de constante mudança. Inovar, reduzir os tempos de *setup* e melhorar o planeamento da produção são formas de uma organização aumentar a sua produtividade (Stevenson, 2011).

O almejado sucesso desta combinação prende-se, na maioria dos casos, com a dificuldade da premente necessidade de redução de custos das atividades, sem prejuízo do nível de serviço oferecido ao cliente. Dos vários fatores que podem

comprometer este objetivo, a Programação da Produção assume um papel de destaque e constitui um problema cuja resolução assume manifesta importância. Esta deve ser rigorosa e eficaz, sob o risco de não resolver eficientemente o problema da Programação da Produção. Dada a elevada complexidade do problema em causa, o recurso à tecnologia e a abordagens heurísticas, pode dar um forte contributo para a sua rápida e eficaz resolução.

A utilização de peças cerâmicas no pavimento e revestimento de superfícies é uma prática comum na indústria da construção civil, sendo raras as edificações em que as mesmas não estão presentes. O seu processo de fabrico é contínuo, com início numa prensa que dá forma às peças, passagem por uma linha onde são feitas as diversas aplicações superficiais e posterior cozedura em forno apropriado. Pelo forte consumo energético que estes fornos representam, a sua utilização deve ser maximizada, devendo os mesmos trabalhar ininterruptamente (24 horas) e com o máximo da área de cozedura utilizada em cada momento. Para que tal se possa verificar, terá de ser garantida a existência de material para a sua alimentação contínua. O mesmo é conseguido com um eficiente Programa de Produção. Um Programa de Produção eficiente, é aquele que maximiza a produção (de peças conformes), minimizando tempos e os custos (mão de obra e recursos instalados) incorridos com *changeovers* (mudanças/adaptações) de produto para produto, tendo em consideração a procura, se possível, evitando a acumulação de trabalho por executar e reduzindo os custos de posse dos bens produzidos. Na execução de um plano de produção eficiente é tida em consideração uma série de requisitos adicionais, como a dimensão mínima do lote produtivo, balanceamento e restrições das linhas de vidrar, a ociosidade do forno, entre outros. Neste sistema, verifica-se muitas vezes a produção para *stock*, não só por razões relacionadas com a dimensão mínima do lote, ditada pela carga mínima de vidro de cada referência, mas também para responder às necessidades até à próxima produção.

1.2 Principais objetivos e contributos deste trabalho

Este projeto tem como objetivo estudar o problema da Programação da Produção numa indústria de pavimentos e revestimentos cerâmicos, através do desenvolvimento de uma abordagem heurística capaz de traduzir com fiabilidade a realidade do processo produtivo da mesma. A programação da produção é uma das atividades mais complexas da gestão da produção (Slack, Chambers e Johnston, 2010). No caso em estudo a complexidade da mesma advém do elevado número de variáveis e

particularidades a ter em consideração no processo de programação da produção, nem sempre compatíveis com os conceitos teóricos presentes na literatura existente. Foram desenvolvidos esforços para que fosse possível obter planos viáveis de produção, que auxiliem no processo de tomada de decisão do colaborador responsável por elaborar o Plano de Produção de cada linha produtiva, maximizando a utilização da capacidade dos fornos ligados no período considerado. Pretende-se que a heurística devolva uma solução de agendamento das diversas referências produtivas a processar ao longo de um dado horizonte temporal, tão próxima quanto possível da solução ótima, para que em tempo útil, o responsável pela programação da produção possa ter uma ideia da mesma de uma forma sustentada, simples e rápida. A solução obtida não substituirá por completo o trabalho do programador da produção mas irá contribuir para agilizar as suas funções, aumentando o seu tempo de folga, sendo que por vezes poderão ser-lhe evidenciados programas de produção alternativos, que muitas vezes lhe seriam impercetíveis pelos meios de programação manuais. Concretamente pretende-se a obtenção de uma ferramenta que aloque cada referência aos diversos dias produtivos de uma das dez linhas de produção (linhas de conformação e vidragem), respeitando a matriz de compatibilidade entre linhas e produtos, respeitando os lotes mínimos de produção, garantindo o cumprimento dos compromissos assumidos para com os clientes (prazos), maximizando o enchimento dos fornos de cozedura e, se possível, minimizando os tempos de preparação aquando de uma troca de família.

Pretende-se que esta abordagem heurística tenha em consideração os compromissos já assumidos com os clientes, as necessidades de satisfação atuais e as necessidades (previsionais) futuras.

Com o intuito de avaliar a qualidade das soluções obtidas através da heurística, foi também desenvolvido um modelo de programação inteira mista para o problema de programação da produção em estudo.

1.3 Metodologia adotada

Para que fosse possível desenvolver um modelo eficaz, ajustado à realidade produtiva da empresa, aos constrangimentos laborais e aos requisitos da organização, cujo Problema de Programação da Produção (PPP) serviu de base de estudo para este projeto, foi necessário, numa primeira fase, acompanhar as diferentes etapas dos processos de produção, programação da produção, armazenamento e expedição. O acompanhamento destes processos e do trabalho das pessoas envolvidas nos mesmos, ao longo de várias semanas, permitiu obter um forte conhecimento acerca do

problema, das variáveis e particularidades que o caracterizam e simultaneamente obter a sensibilidade para o traduzir através de um modelo computacional.

Com a plena consciência de que na maioria dos casos a obtenção da solução ótima em contexto industrial é uma ilusão raramente atingível em tempo útil, optou-se, numa primeira etapa, pela criação de uma heurística construtiva capaz de gerar soluções admissíveis para o problema, de qualidade, em tempo útil. Assim, assumiu-se como objetivo a alcançar para o PPP minimizar o tempo total necessário para a conclusão do conjunto de referências com necessidades produtivas, tendo em linha de conta as restrições existentes nas linhas de conformação e vidragem, a necessidade de considerar uma matriz de compatibilidade entre referências e linhas de vidrar, uma vez que nem todas as referências podem ser processadas em todas as linhas. Isto é, cada referência só pode ser processada em subconjuntos de linhas de vidrar, do total de linhas disponíveis. Foram também considerados os tempos de *setup* aquando de algumas mudanças de referência, os lotes mínimos de produção estabelecidos e respetivo tempo de processamento, bem como a maximização da utilização da capacidade de cozedura dos fornos ligados ao longo do horizonte de programação.

Numa segunda fase efetuou-se uma revisão à literatura, a fim de obter conhecimento teórico que, aliado ao conhecimento prático adquirido ao longo das semanas de acompanhamento da atividade produtiva da empresa, permitisse criar a heurística. Foram analisados problemas de programação da produção de diversos setores de atividade, assim como diferentes abordagens heurísticas utilizadas na sua resolução. Todavia, na literatura consultada, foram poucos os trabalhos em que tivessem sido usadas abordagens heurísticas na resolução de problemas de programação da produção de indústrias cerâmicas.

Uma vez efetuada a revisão à literatura, iniciou-se a idealização e programação informática da heurística. Na criação desta, foram tidas em consideração algumas das soluções utilizadas pelos autores, da literatura consultada, na resolução dos seus problemas, todavia a mesma foi fortemente inspirada e construída à luz daquilo que se faz atualmente na empresa para programar a produção. Significa isto dizer que se assumiram os mesmos pressupostos e as mesmas restrições da programação manual, numa tentativa de conseguir uma solução de qualidade equivalente a um custo inferior.

Posteriormente, elaborou-se um modelo de Programação Inteira Mista (PIM), para tentar obter a solução ótima para o problema em estudo e com base na mesma testar a performance da heurística e a qualidade das suas soluções.

1.4 Estrutura

Este relatório encontra-se dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, apelidado de Introdução, é feito um breve enquadramento a este trabalho, são expostos os objetivos e principais contributos do mesmo e é apresentada a metodologia adotada para a sua concretização.

No segundo capítulo é apresentada uma breve revisão da literatura dos principais temas envolvidos no trabalho.

O terceiro capítulo diz respeito à empresa para a qual a heurística, apresentada neste trabalho, foi criada. Nesta é feita uma ligeira apresentação da empresa e do grupo a que a mesma pertence. É também apresentado, com relativo detalhe, o processo produtivo da unidade industrial envolvida.

No quarto capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido, nomeadamente a exposição e caracterização do problema e os dois métodos de resolução criados: modelo de programação inteira mista e heurística construtiva. São ainda apresentados e discutidos, neste capítulo, os resultados obtidos pelos dois métodos de programação criados.

O quinto capítulo agrega as conclusões obtidas após o trabalho e sugestões para trabalhos futuros, no seguimento deste.

Por fim são expostas as referências bibliográficas das obras consultadas no âmbito da elaboração deste trabalho e os anexos deste documento.

2. Revisão da literatura

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão acerca da programação da produção, por forma a contextualizar o tema e elucidar o leitor da importância da mesma, na resolução dos problemas que lhe estão associados. Apresenta-se também uma breve revisão bibliográfica acerca dos principais temas abordados neste trabalho, nomeadamente: Programação da produção (secção 2.1), Problemas de programação da produção (secção 2.2), Programação de máquinas paralelas (secção 2.3), Programação com tempos de *setup* (secção 2.4), Programação determinística através de abordagens heurísticas (secção 2.5) e Planeamento mestre da produção (secção 2.6).

2.1 Programação da produção

Durante várias décadas o tema da programação da produção tem sido um dos problemas de otimização mais estudados, sendo ainda atualmente uma área de pesquisa ativa (Iori e Martello, 2008). A programação desempenha um papel cada vez mais essencial e tende a concentrar-se em várias áreas (Wee, 2000). A programação da produção consiste na definição dos instantes de início e de conclusão para cada trabalho ou tarefa em particular a serem realizados num determinado conjunto de recursos. A nível industrial, a programação pode ser traduzida como sendo a atribuição de trabalhos a máquinas e a ordenação dos mesmos, respeitando determinadas restrições, a fim de otimizar um ou mais critérios de desempenho (Pinedo, 2008). Na opinião dos autores, a programação envolve decisões a tomar relativamente à repartição dos recursos ou capacidade disponíveis (equipamento, trabalho e espaço) por trabalhos, atividades, tarefas ou clientes ao longo do tempo. Afirmando ainda que, a programação resulta num plano faseado de tempo ou em cronogramas de atividades, com a indicação do que deve ser feito, quando, por quem e com que equipamento.

Pode, portanto, afirmar-se que uma boa programação pode proporcionar um incremento de produtividade no chão fabril, ao fornecer um calendário para o processamento de um conjunto de trabalhos (Kumar e Suresh, 2009).

2.2 Problemas de programação da produção

Os dois problemas chave da programação da produção, de acordo com Wight (1984) são a prioridade e a capacidade. Concretizando: o que deve ser feito em primeiro lugar e quem é que deve ficar responsável pela sua concretização? Wight define *scheduling* como sendo o estabelecimento do *timing* para a realização de uma tarefa, afirmando

também que numa empresa de produção de bens existem vários tipos de programação. Também Brucker (2007) partilha de uma opinião semelhante ao afirmar que a programação trata da alocação de cada trabalho a máquinas num ou mais intervalos de tempo. Herrmann (2006) define a programação detalhada como “a atribuição efetiva de datas de arranque e/ou de conclusão de operações ou grupos de operações, para evidenciar quando os mesmos devem ser feitos para que a produção seja concluída a tempo”.

Younger, um pioneiro na área da programação, citado por McKay e Wiers (2004) afirmou: “A execução de uma rotina de trabalho cuidada e bem organizada, bom planeamento de produção e expedição são essenciais para conseguir a quantidade de produção necessária, com a qualidade exigida no tempo pedido e respeitando um custo considerado razoável”.

Os problemas de programação podem ser de dois tipos: tático e operacional. A programação de ordem tática visa minimizar o número ou o custo dos recursos envolvidos no processamento de todas as tarefas. Por sua vez, na programação operacional o objetivo passa por selecionar um subconjunto de tarefas para processamento conjunto, por forma a maximizar a utilização dos recursos (Eliyi e Azizolu, 2011). Estes problemas podem ser modelados como problemas de alocação (*assignment problems*), representando uma grande classe de problemas de otimização combinatória, cuja solução ótima é muito difícil de obter na maioria dos casos. Nestes casos, os problemas são, em boa medida, resolvidos com o recurso a heurísticas, que fornecem soluções de qualidade num período de tempo razoável (Widmer, Hertz e Costa, 2010)

Segundo Allahverdi (2015) os problemas de programação podem ser classificados com base numa série de fatores, incluindo o número de fases de trabalho que precisam de ser processadas, o número de máquinas em cada etapa, os requisitos de processamento de trabalho, o tempo / custo de *setup* e a medida de desempenho a ser otimizada.

2.3 Programação de máquinas paralelas

Os problemas de programação de máquinas paralelas estão entre os problemas mais importantes da literatura de programação (Rostami, Pilerood e Mazdeh, 2015). Tradicionalmente o mesmo consiste na programação de um conjunto de trabalhos independentes em máquinas paralelas idênticas, com o objetivo de minimizar o *makespan* (Sivrikaya-Serifoglu e Ulusoy, 1999). No problema de Programação de Máquinas Paralelas clássico, consideram-se n trabalhos e m máquinas. Cada um dos

trabalhos terá de ser processado numa das máquinas, durante um tempo de processamento fixo, sendo que quando se tratam de linhas de produção é habitual coexistir várias máquinas de cada tipo (Mokoto, 1999).

Unlu e Mason (2010) classificam as máquinas paralelas, de acordo com a velocidade com que estas processam os trabalhos/tarefas em três tipos: idênticas quando têm iguais velocidades de processamento das tarefas; não-idênticas quando a sua velocidade de processamento depende da tarefa a ser executada e uniformes quando as mesmas apresentam diferentes velocidades de processamento das tarefas mas, porém, a velocidade de cada uma das máquinas é constante não dependo da tarefa a processar.

Framinan, Leisten e García (2014) afirmaram, neste contexto, que o tempo de processamento de cada trabalho não depende da máquina à qual é atribuído, facilitando deste modo o processo de atribuição de trabalhos às máquinas, pelo facto de possibilitarem, na maioria das vezes, a atribuição do trabalho logo que uma máquina esteja disponível.

Um trabalho pioneiro acerca do problema de programação de máquinas paralelas foi iniciado nos anos 1950 por McNaughton. O interesse de vários autores pelo estudo deste problema foi crescendo desde então, dada a sua relevância para sistemas computacionais e sistemas de produção dos mais variados tipos de bens e serviços. Podem ser referenciados inúmeros e diversificados trabalhos desenvolvidos, como o de T'kindt, Billaut e Proust (2001) através do qual estudaram o problema de programação de máquinas paralelas na indústria produtora de garrafas de vidro. Li e Wang (2010) estudaram a programação de máquinas paralelas com várias restrições, entre as quais a programação de um conjunto de trabalhos com datas de disponibilização (*release times*) diferentes, por forma a minimizar o *makespan* da programação. Dunstall e Wirth (2005) estudaram o problema de programação de máquinas paralelas idênticas, com os trabalhos organizados por famílias e tempos de *setup* independentes da sequência de trabalhos nas máquinas em questão. Também Iori e Martello (2008) abordaram um dos problemas, básicos, que eles consideram, mais importante da teoria de programação: o Problema de Programação de Máquinas Paralelas Idênticas.

Foram consideradas várias restrições e estudados vários critérios de programação nos problemas da literatura, sendo a minimização do *makespan* um dos critérios mais estudados pelos autores da literatura atual (Chaudhry e Mahmood, 2013).

No que concerne à classe de problemas de Máquinas Paralelas, os mesmos são de difícil resolução recorrendo-se, por isso, frequentemente a abordagens heurísticas para a resolução dos mesmos.

2.4 Programação com tempos de *setup*

A primeira abordagem sistemática a *scheduling problems*, vulgarmente traduzidos por problemas de programação, agendamento ou calendarização, surgiu em meados dos anos 1950. Por sua vez, o interesse em estudar problemas de programação envolvendo tempos de preparação (*setups*), só foi alvo de estudo em meados da década seguinte. Atualmente encontram-se na literatura centenas de problemas de programação distintos que consideram custos e/ou tempos de *setup*. O tempo de *setup*, pode ser definido como o tempo necessário para preparar o recurso a utilizar (pessoas, máquinas) para executar uma tarefa (operação, trabalho) (Allahverdi e Soroush, 2008).

Esses problemas surgem normalmente associados a uma das seguintes classes de problema de programação: Job Shop, Flow Shop, Open Shop, Problemas de Sequenciamento, Programação de Máquinas Paralelas, Timetabling e Programação em regime de Multiprocessamento. O estudo e tratamento deste tipo de problemas tem sido útil numa vasta área de aplicações, nomeadamente no dimensionamento de lotes, na programação da produção e em várias outras questões relacionadas com a produção (Iori e Martello, 2008).

A programação com tempos de preparação desempenha atualmente um papel importante na criação de bens e serviços. Os tempos de preparação não acrescentam valor aos produtos criados, devendo portanto ser considerados e penalizados no processo de programação da produção, por forma a eliminar o desperdício, melhorar a utilização de recursos e garantir o cumprimento dos prazos. Todavia, a maioria da vasta literatura existente ignora este facto (Allahverdi, 2015).

Na resolução dos atuais problemas de programação, estejam eles relacionados com a produção de bens ou de serviços, o tratamento em separado dos tempos de processamento / custos das operações e dos tempos de *setup* / custos de *setup* assume manifesta importância. Esse modo permite a realização de várias operações em simultâneo, melhorando, assim, a utilização dos recursos (Allahverdi e Soroush, 2008).

Têm sido muitos os problemas de programação com tempos/custos de *setup* estudados por diversos autores, como evidencia Allahverdi nas suas três revisões à

literatura sobre o tema. Na primeira revisão Allahverdi, Gupta e Aldowaisan (1999) deram conta de 200 trabalhos publicados entre meados de 1960 e meados de 1988, no período entre 1998 e 2006 surgiram 300 publicações, sobre as quais incidiu a sua segunda revisão de Allahverdi, Ng, Cheng e Kovalyov (2008) tendo a terceira incidido em cerca de 500 trabalhos publicados entre 2006 e o final de 2014 (Allahverdi, 2015).

Alguns problemas de programação consideram um número de famílias de trabalho, onde cada família representa um conjunto de trabalhos com características semelhantes, em termos de instalação, ferramentas e sequência de operação. O número de trabalhos associados a uma família é fixo, bem como o número de postos de trabalho em cada família. Sempre que é necessário processar um trabalho de outra família são necessárias configurações na máquina com tempos/custos de *setup* significativos. Quer isto dizer que o tempo/custo de *setup* é insignificante ao mudar de um trabalho para outro da mesma família, o que não acontece entre trabalhos de famílias diferentes. O tempo/custo de *setup* de família pode ser também dependente ou independente da sequência. Os tempos/custos de *setup* podem ser classificados como sendo de sequência dependente quando a duração/custo de *setup* é influenciado pelo trabalho processado anteriormente e pelo trabalho que será processado em seguida ou de sequência independente nos restantes casos (Allahverdi, 2015).

No problema de máquinas paralelas os trabalhos podem ser divididos em famílias mutuamente exclusivas e exaustivas. Define-se um lote como sendo uma série de tarefas justapostas, programadas, que pertencem à mesma família. Isto é, as famílias são dadas e os lotes são construídos no processo de programação. A estrutura das famílias é tal que um lote pode ser produzido numa máquina sem incorrer em tempos de *setup* para além dos tempos de processamento incorporados no trabalho. Os tempos de *setup* são considerados e programados entre trabalhos sucessivos se eles pertencerem a famílias diferentes. No início do horizonte de programação, cada máquina é considerada como inativa e disponível. É considerado um *setup* de família antes de ser iniciado o processamento de qualquer família numa máquina (Dunstall e Wirth, 2005).

2.5 Programação determinística através de abordagens heurísticas

Atualmente trabalhar simplesmente com bons planos de produção não é suficiente. Para serem e permanecerem competitivas, as organizações devem esforçar-se para

manter os níveis ideais de *stock*, utilização de recursos, custos de produção, níveis de serviço e tempos de *setup*.

O uso de sistemas computacionais pode acelerar e dar um importante contributo no planeamento e programação da produção, através de uma função objetivo, que impulsiona a lógica que está por trás da execução desses sistemas (Herrmann, 2006).

Nos últimos 40 anos, a programação determinística tem sido motivada por questões relacionadas com o planeamento da produção, telecomunicações, logística, controlo por computador, entre outras, razão pela qual tem merecido a atenção e a pesquisa por parte de diversos autores. Esta surge na indústria e nos serviços, para auxiliar no agendamento e sequenciação das atividades, embora que com diferentes abordagens, através da geração de planos de produção ótimos ou tão próximos quanto possível dos mesmos (Unlu e Mason, 2010).

Zanakis e Evans (1981) defendem o uso de heurísticas para a resolução de vários problemas, pelo facto das mesmas poderem ser entendidas como algoritmos utilizados para obter soluções admissíveis de modo fácil e rápido, embora que nem sempre isso se verifique. De um modo genérico, as heurísticas são capazes de garantir boas soluções ou até mesmo a solução ótima, especialmente se o ponto de partida forem soluções próximas do ótimo (Goldbarg e Luna, 2005). A abordagem heurística na resolução de problemas de programação é uma prática que se tem vindo a intensificar nos últimos anos, como se pode constatar pela vasta quantidade de trabalhos relacionados publicados. Quer na programação de raiz, quer na programação sobre programas de produção já pré-estabelecidos, como é o caso do trabalho realizado por Eliyi e Azizolu (2011) em que se tenta alocar tarefas entre outras cuja produção já se encontra fixada.

A literatura existente agrega uma grande variedade de abordagens heurísticas para a análise de problemas de programação da produção, constituindo na sua maioria, problemas NP-difíceis, de difícil resolução. Como tal, antes da criação da heurística, torna-se fulcral efetuar a formulação matemática do problema de programação em estudo, para compreender a estrutura subjacente ao problema e posteriormente avaliar a eficácia da heurística desenvolvida, por comparação com a solução ótima obtida (Framinan, Leisten, e García, 2014).

Segundo Harrison e Petty (2002) as regras de sequenciamento podem ser divididas em três grandes categorias:

- Estáticas, na qual a prioridade da tarefa permanece constante ao longo do tempo. São exemplo desta a regra da data de entrega mais próxima (EDD - Earliest Due Date), a de menor tempo de processamento (SPT – Short Processing Time) e a de tempo de processamento mais longo (LPT – Longest Processing Time);
- Dinâmicas, na qual a prioridade está continuamente a ser alterada com o passar do tempo. Tal suscita a necessidade de proceder a cálculos, para todos os trabalhos na fila, quando é tomada uma decisão relativa à prioridade. As regras, mais comuns, utilizadas nesse sentido são a First-In-First-Out (FIFO), Critical Ratio (Cr), Least Slack (LSlack) e Least Slack Per Remaining Operation (LSPro).
- Informais, na qual as prioridades são determinadas pelas regras informais aplicadas pelos operadores, supervisores de primeira linha ou “predadores do processo”. Estas regras incluem aspetos que facilitam os *setups* seguintes, deixando a máquina a jusante menos carregada. Muitas das vezes estas regras são difíceis de estabelecer, mesmo com detalhada investigação

Tendo em consideração as diversas particularidades do processo é essencial a escolha de uma regra de sequenciamento adequada. Se os trabalhos não são priorizados, subsiste o risco de uns serem concluídos tardiamente e outros antecipadamente (Harrison e Petty, 2002).

A sequenciação dos trabalhos/tarefas é normalmente feita segundo o conceito de lista de agendamento (*list scheduling*), conceito este largamente utilizado na área da programação. Basicamente, um algoritmo de programação segundo uma lista de agendamento é uma rotina que calcula, para uma determinada ordem de trabalhos, um cronograma correspondente, considerando os trabalhos um por um (na ordem estabelecida) e alocando cada um deles, com base no cronograma parcial dos trabalhos anteriormente agendados. Este método de alocação/programação mantém as decisões dos postos de trabalho anteriormente programados inalteráveis (Hurink e Knust, 2001).

2.6 Planeamento mestre da produção – Master Production Scheduling (MPS)

O MPS é uma representação do que a empresa planeia produzir, expresso em configurações específicas, quantidades e datas. Aquando da sua elaboração deve ser tida em conta a previsão, o plano de produção e outras considerações importantes, como a carteira de pedidos, disponibilidade de material, disponibilidade de capacidade, a política de gestão e os objetivos da organização.

Este é provavelmente o módulo mais importante do MRP (*Material Requirement Planning*). O MRP é impulsionado exclusivamente por clientes. O objetivo do MPS, dentro do MRPII (*Manufacturing Resource Planning*), é separar fabrico de vendas, minimizando as flutuações da procura. Teoricamente, para otimizar o desempenho da empresa, os produtos deveriam ser produzidos exclusivamente para atender às necessidades dos clientes. Na prática, existem várias restrições que justificam o facto de não ser simplesmente o plano de vendas a ditar a produção (Harrison e Petty, 2002).

Embora o MPS venha a ser utilizado e estudado há vários anos, existe ainda um longo percurso exploratório do mesmo. As palavras proferidas por volta da década de oitenta por estudiosos na área, mantêm-se ainda hoje muito atuais. Recordem-se as palavras de McClelland, citado por Herrmann (2006), que em 1988 afirmou que “embora exista folclore a respeito de métodos eficazes de MPS, ainda é necessária pesquisa para investigar cientificamente as práticas preconizadas pela sabedoria convencional do MPS”. Na mesma obra de Herrmann, podem ainda ser consideradas as palavras citadas por Higgins, Browne, Raffish e Moran que afirmaram que “apesar do reconhecimento da importância do MPS, os investigadores publicaram muito pouco sobre o desenvolvimento de MPS eficazes, quer para ambientes de produção para *stock*, quer para ambientes de produção para encomenda”. Esta dificuldade de desenvolvimento de MPS eficazes é mais acentuada em ambientes de produção com capacidade limitada, uma situação comum em ambientes industriais.

Segundo Harrison e Petty (2002) o MPS tem duas funções:

- Traduzir os planos de vendas e operações em planos de fabrico;
- Servir de mecanismo para equilibrar a oferta e a procura. Um dos equívocos mais comuns é afirmar que o MPS é uma previsão, que é uma declaração de procura, quando na verdade se trata de uma declaração de oferta.

Por norma, em ambientes industriais os recursos requerem uma boa utilização, estando esta relacionada com aspetos como a correta atribuição dos trabalhadores aos postos de trabalho, a utilização de ferramentas limitadas e a resposta a falhas inesperadas de recursos e sistemas produtivos.

Neste cenário de restrições, com base em previsões de procura e nos pedidos dos clientes, a empresa deve definir com precisão o que fazer, quando, onde, e quanto (quantidade de produto) deve ser atribuído às diferentes estações de trabalho (J. Herrmann, 2006).

3. Apresentação da empresa

Neste capítulo pretende-se apresentar o grupo (secção 3.1), a empresa onde decorreu este projeto (secção 3.2) e uma breve explicação do processo produtivo da unidade industrial sobre a qual incidiu este projeto (secção 3.3).

3.1 PanariaGroup Industrie Ceramiche, S.P.A.

A unidade industrial sobre a qual incidiu o estudo sobre o Problema de Programação da Produção, tratado neste trabalho, integra o grupo italiano Panariagroup Industrie Ceramiche, S.P.A. O Panariagroup conta com cerca de 1800 funcionários e 9000 clientes a laborar nas suas 6 unidades industriais. É um dos principais grupos italianos na produção e comercialização de material cerâmico para pavimentos e revestimentos. Especializado na produção de material cerâmico em grés porcelânico, o grupo posiciona-se na faixa alta e luxo de mercado com as suas oito marcas: Panaria, Lea, Cotto d'Este, Fiordo, Margres, Love Tiles, Florida Tile e Blu Style que satisfazem um conjunto de clientes diversificado, mas extremamente atento à qualidade técnica e estética do produto. Na Figura 1 encontra-se esquematizada a estrutura do grupo.

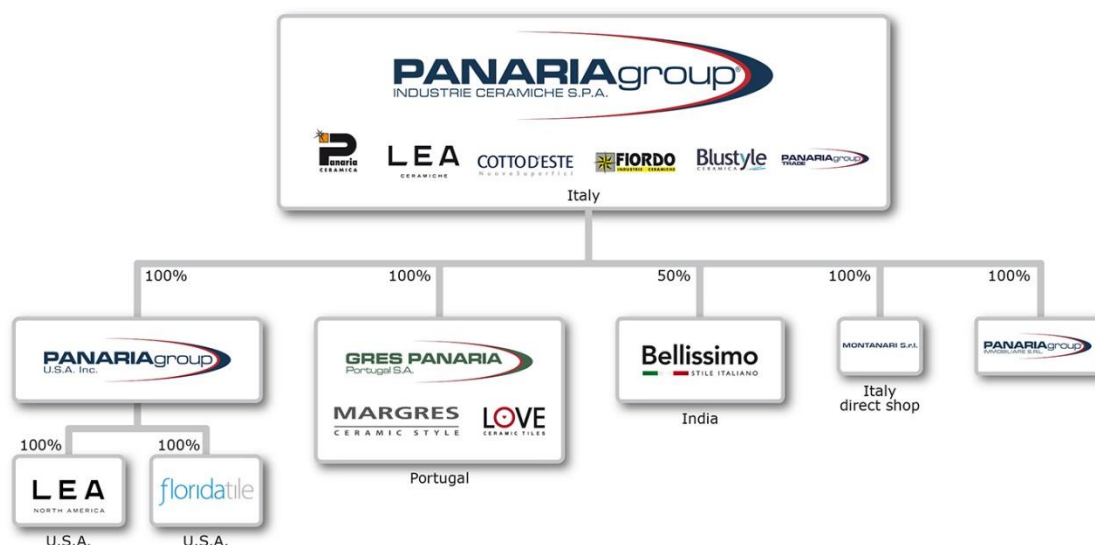


Figura 1 - Estrutura do Panaria Group Industrie Ceramiche S.P.A.

O Panariagroup é uma realidade de dimensão internacional presente em Itália, Portugal, Estados Unidos e nos principais países do mundo através de uma ampla rede comercial e de venda. Fundado em 1974, a sua produção encontra-se atualmente instalada em três países, estando três unidades industriais em Itália, duas

em Portugal e uma nos Estados Unidos. Todas elas são de vanguarda do ponto de vista tecnológico, produtivo e ambiental, tendo o seu foco principal na produção de material cerâmico, em grés porcelânico, que, hoje, representa o *core business* da empresa (mais de 80% da faturação consolidada).

3.2 Grés Panaria Portugal, S.A.

A denominação Grés Panaria Portugal S.A. (GPP) surgiu em 2006 aquando da aquisição, pelo grupo, da segunda unidade industrial em Portugal, a antiga Novagres e posterior fusão das duas empresas detidas pelo grupo em Portugal: Maronagrês – Comércio e Indústria Cerâmica S.A. e Novagres – Indústria Cerâmica S.A., a 26 de Dezembro de 2006.

A atividade em Portugal iniciou-se em 2002 com a aquisição pelo Panariagroup da sua primeira unidade industrial portuguesa, a Maronagrês, atualmente denominada Margres e implantada em Ílhavo. Quatro anos mais tarde, adquire a então denominada Novagres, uma conceituada marca e líder de setor no mercado nacional português, entretanto alvo de *rebranding*, passando em 2008 a denominar-se Love Tiles.

Atualmente a GPP, no conjunto das suas duas unidades industriais, dispõe de uma capacidade instalada de 8 milhões de m²/ano e cerca de 400 colaboradores. A sua estrutura comercial conta com 70 agentes, 8 promotores, atendendo a mais de 2000 clientes espalhados por mais de 113 países, dos 5 continentes, constituindo esta um importante ativo na geração do volume de negócios anual, de cerca de 50 milhões de euros (dados referentes ao ano comercial de 2014).

A Margres é uma das marcas líderes no sector dos pavimentos e revestimentos em grés porcelânico. Iniciou a produção na sua unidade industrial de Ílhavo em 1982, na altura denominada Maronagrês, sendo então uma das primeiras fábricas de grés porcelânico a nível mundial. Dedicar-se exclusivamente à produção de grés porcelânico, um produto de excelência que, pelas suas elevadas vantagens técnicas oferece soluções para qualquer tipo de construção em espaços privados ou públicos. As características que tornam este produto ímpar advêm do recurso à mais moderna tecnologia, a matérias-primas de elevada qualidade e a uma preocupação estética que vai ao encontro das exigências da arquitetura contemporânea. Trata-se de uma marca de referência no mercado nacional e conta com uma grande presença no mercado internacional.

A marca Love Tiles surge em Maio de 2008 substituindo a marca Novagres. A nova designação, ligada a um conceito de marketing emocional, exprime o estilo da marca que convida a sentir cada espaço da sua casa através de ambientes elegantes, exclusivos e irrepetíveis. É uma marca especializada na produção de revestimentos em monoporosa, pasta branca, de grandes formatos e em pavimentos em grés esmaltado. A qualidade dos produtos aliada ao *design* de vanguarda têm contribuído para a consolidação da Love Tiles no mercado de revestimentos e pavimentos cerâmicos de gama média-alta.

Ambas as unidades industriais produzem com a inscrição de outras marcas, como são o caso da Bloom Ceramic Tiles e da Easy Tiles, integrados numa gama de preços inferior, sendo uma solução interessante para clientes que atribuem grande valia ao binómio qualidade-preço.



Figura 2 - Logotipos das duas marcas principais

A Grés Panaria Portugal, S.A. tem uma estrutura dedicada que, através de laboratórios e recursos próprios, leva a cabo a investigação e desenvolvimento de novos produtos, sempre na vanguarda quer em termos de qualidade quer de *design* dos produtos.

Para além das áreas produtivas e administrativas, as marcas possuem ainda showrooms próprios em Aveiro e Lisboa.

3.3 Apresentação do processo produtivo da Love Tiles

A área produtiva da Love Ceramic Tiles encontra-se dividida e agrupada por processos, originando nove grandes secções principais, denominadas por: Preparação de Pastas, Preparação de Vidros, Prensagem, Linhas de Vidrar, Cozedura/Fornos, Corte e Retificação, Escolha e Embalamento, Laboratório, Armazenamento e Expedição. Na mesma, são produzidas peças cerâmicas de elevada qualidade, para futura incorporação na indústria da construção civil, no pavimento e revestimento de superfícies.

O chão de fábrica é liderado por diferentes chefias, nomeadamente diretores, engenheiros, encarregados de secção e chefes de turno. A resposta aos elevados padrões de qualidade característicos da marca Love Tiles, exige uma forte articulação e cooperação entre as diferentes chefias e secções produtivas, sendo, por sua vez, as mesmas essenciais para o cumprimento dos objetivos operacionais e estratégicos da organização. Como tal, torna-se indeclinável a elaboração de rigorosas fichas de especificações técnicas (para cada uma das referências produzidas) e a devida

documentação e estruturação dos processos, bem como o assegurar da monitorização e cumprimento dos mesmos ao longo de todo o processo produtivo.

O processo produtivo segue uma ordem cronológica, evidenciada na Figura 13 e devidamente explicada posteriormente.

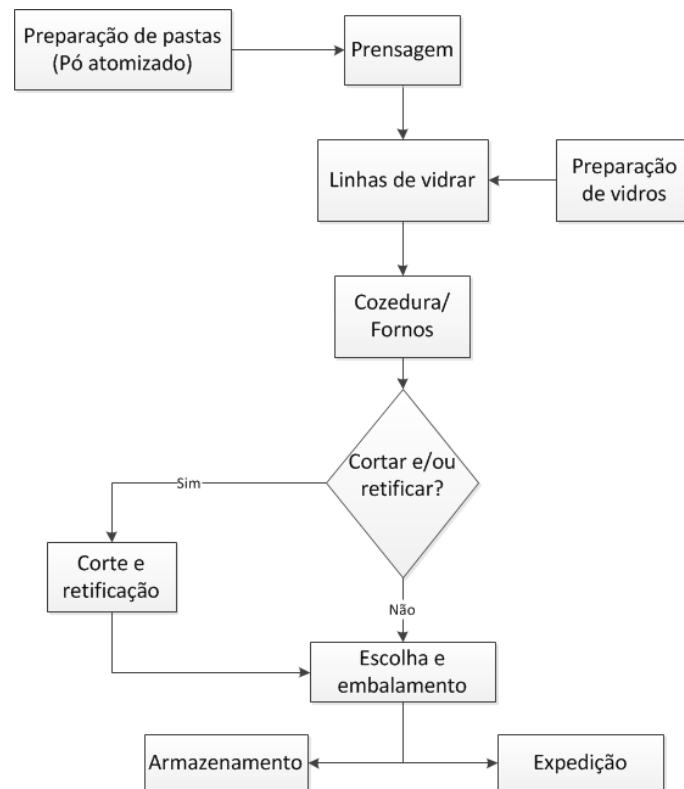


Figura 3 - Esquema da sequência do processo produtivo

O trabalho desenvolvido no laboratório não foi considerado no esquema anterior, apesar de ter um forte impacto no controlo da produção ao longo de todas as fases do processo produtivo e trabalhar em parceria com todas as seções fabris.

3.3.1 Preparação de pastas

O processo de preparação de pó atomizado tem início com a receção das matérias-primas (MP), praticamente no estado em que se encontram na natureza, embora que em dimensões e granulometrias inferiores, resultantes dos processos de extração e transformação física a que foram sujeitas. À chegada, estas são inspecionadas visualmente, sendo uma pequena porção das mesmas submetida a testes laboratoriais (descrito com mais detalhe no item Laboratório) com o intuito de aferir a sua qualidade. Estando as MP conformes, são transportadas das tulhas primárias, onde haviam sido depositadas pelos fornecedores, para as tulhas secundárias, estas já no interior da fábrica, por intermédio de tapetes rolantes. Quando se trata do transporte de argilas, as mesmas são sujeitas a limpeza magnética com o objetivo de extrair partículas metálicas que podem ser vistas como resíduos conferentes de características indesejáveis às MP e ao processo produtivo. As argilas são também conduzidas e feitas passar por um desterrador, responsável pela destruição mecânica de torrões que possam existir na mistura argilosa.

Uma vez depositadas nas tulhas secundárias, as MP são transportadas para silos, de acordo com as necessidades do momento, onde ficam armazenadas até que seja necessária a sua utilização.

Moagem

As quantidades e matérias incorporadas no processo seguinte (moagem) são ditadas pelo tipo de pó atomizado que se pretenda. Atualmente trabalha-se somente com duas receitas, sendo uma para a produção de grés e a outra para a produção de monoporosa. No caso da produção de grés, a mistura é designada internamente por “G14” e em cada ciclo produtivo de pó atomizado são incorporadas lamas, compostas por uma mistura de caco de grés, obtido em ciclos produtivos anteriores, resíduos resultantes de processos de filtragem e extração de impurezas, também eles, de ciclos produtivos anteriores, desfloculantes, argilas e duros diversos. A monoporosa produzida atualmente, possui a denominação interna “P26” e entram na sua composição, duros, argilas e desfloculantes.

Uma vez escolhida a mistura a produzir, grés ou monoporosa, as MP são vertidas dos silos e pesadas na balança, instalada à saída de cada silo, as quantidades de cada uma das MP necessárias à produção da mesma. Uma vez pesadas, as diferentes MP são vertidas para uma tremonha, que posteriormente despejará a mistura num moinho, encarregue da mistura e diminuição do grânulo dos diferentes minerais. A tremonha, mencionada anteriormente, é um reservatório em forma de pirâmide

quadrangular truncada e invertida. Neste moinho são também adicionados à mistura anteriormente referida, água (resultante do processo de lavagem do atomizador) e pó desfloculante, com o intuito de permitir uma dispersão mais estabilizada e evitar que partículas finas se aglomerem, através da manutenção das mesmas em suspensão, modificando deste modo o comportamento reológico das pastas. O tempo que a mistura anterior permanece no moinho é determinado pela dimensão pretendida do grânulo, sendo estes inversamente proporcionais. No final do tempo pré-estabelecido para a moagem, o moinho para e é efetuado o controlo do resíduo ao peneiro, assim como o controlo da densidade e da viscosidade, para verificar se a moagem se situa dentro dos parâmetros definidos.

Agitação mecânica - Turbo diluidor

Uma vez terminado o processo de mistura e moagem anterior, a mistura pastosa obtida é descarregada por trasfega para um turbo-diluidor/agitador, que deverá já conter as matérias-primas plásticas devidamente misturadas. Esta mistura contém água, argilas e desfloculante, segundo as quantidades determinadas pela receita do pó a produzir. No turbo diluidor o material duro, proveniente dos moinhos, e a mistura dos plásticos nele efetuada são agitados mecanicamente por intermédio de uma hélice, dando origem a uma mistura homogénea de alta viscosidade.

Filtragem

Uma vez terminado o processo de diluição, a suspensão é filtrada com o recurso a peneiros, de modo a que sejam extraídas impurezas, na forma de partículas de granulometria superior ao estabelecido para esta fase do processo. Nesta fase é ainda efetuado o controlo do resíduo ao peneiro, assim como o controlo da densidade e da viscosidade à suspensão, de acordo com o estipulado.

Armazenamento intermédio

Seguidamente procede-se à descarga por trasfega da mistura anterior, denominada por barbotina, do turbo-diluidor para os tanques de homogeneização, onde a mesma aguarda em constante agitação, para não sedimentar e homogeneizar devidamente, até haver disponibilidade para ser atomizada. Dos tanques de homogeneização é feita a trasfega da referida mistura, vulgarmente apelidada de “pasta”, para os tanques de alimentação do atomizador, onde aguarda ser atomizada em constante agitação. À entrada dos tanques de alimentação do atomizador, a pasta é novamente sujeita a um processo de filtragem com recurso a um peneiro de dimensões inferiores às do peneiro anteriormente utilizado. Em seguida a pasta é bombeada para o atomizador,

sendo que no percurso encontra ímanes encarregues de fazer a desferrização da mesma, através da remoção de eventuais partículas ferrosas.

Atomização

Por forma a obter a mistura em pó, que posteriormente será utilizada na conformação das peças cerâmicas, é necessário extrair a água da “pasta”, sendo o mesmo conseguido com recurso a um atomizador. O atomizador, representado na Figura 4, é um equipamento industrial, em forma cônica, para o qual é injetada, a uma pressão de 25 bar, e pulverizada a “pasta” cerâmica, numa zona próxima da extremidade do equipamento. Na extremidade do referido equipamento, é injetado ar a elevadas temperaturas que induzirá a evaporação da água da mistura pulverizada no interior do atomizador. Uma vez evaporada a quase totalidade da água da mistura (cerca de 95%), os grânulos esféricos, com uma distribuição de tamanhos controlada, deslizam livremente pelas paredes do atomizador. À saída do atomizador, o pó é submetido a peneiração e



Figura 4 - Atomizador de pó cerâmico

posteriormente transportado para os silos de pó atomizado, separados consoante o tipo de produto a que se destine, onde permanecem até à sua utilização.

Após todos estes procedimentos, esta mistura homogénea, numa visualização a “olho nu”, de pó muito fino, encontra-se pronta a ser utilizada nas prensas que dão forma inicial às peças cerâmicas produzidas.

3.3.2 Preparação de vidros

Como na maioria dos processos produtivos, a produção de vidros/engobes/fumados para posterior incorporação nas peças cerâmicas, inicia-se com a receção das matérias-primas da sua génese e controlo em laboratório das mesmas (descrito com maior pormenor no tópico Laboratório). Estas são compostos cerâmicos, produzidos e fornecidos por fornecedores externos, elaborados na sua grande maioria à base de óxidos metálicos e de sílica, bem como carbonatos de sódio e de cálcio. Estes compostos chegam à unidade industrial em pequenos grânulos necessitando de passar por uma série de processos até que dos mesmos seja obtida a solução aquosa

vítrea, utilizada nas linhas de vidragem. Se o resultado do controlo efetuado for conforme, começam-se por colocar no moinho as quantidades dos diversos compostos cerâmicos, de acordo com a receita e as características do vidro que se pretende produzir. Por forma a diminuir as dimensões dos grânulos dos mesmos, estes são sujeitos a um processo de moagem, no qual é adicionada água juntamente com colas e/ou materiais desfloculantes, nas quantidades ditadas pela receita previamente estabelecida. Uma vez esgotado o tempo pré estabelecido para a moagem, um operador retira uma pequena amostra da mistura recém-formada do interior do moinho, para proceder ao controlo, por amostragem, da mistura. Neste processo é controlada a viscosidade da mistura, a sua densidade e a quantidade de resíduo. Por forma a precaver eventuais desvios dos valores de referência, opta-se por reduzir ligeiramente a quantidade de água que é adicionada aquando do início do processo de moagem, o que se traduz normalmente num ligeiro aumento da viscosidade e densidade da mistura, facilmente ajustável para os valores de referência com a adição de água. No caso de ser necessário aumentar ligeiramente a viscosidade da mistura, pode proceder-se à adição de desfloculante para o efeito. Quanto ao aumento da densidade, o mesmo só pode ser conseguido com a adição de material sólido à mistura, o que constitui um grave problema ao normal ciclo produtivo. Isto porque, para poder ser feita a adição do referido material sólido, o mesmo deverá possuir dimensões semelhantes às da mistura cuja densidade se pretende aumentar. O facto do referido material sólido se encontrar armazenado em dimensões muito superiores, explica o porquê de, por precaução, se reduzir ligeiramente a quantidade de água a introduzir inicialmente no moinho.

Uma pequena porção do material desta amostra é também sujeita a uma operação de controlo de resíduo sólido. A mesma consiste na diluição, com água, da mistura e posterior medição do precipitado formado em recipiente apropriado para o efeito. O ideal é a quantidade de resíduo tomar valores próximos de zero. Assim, os valores do mesmo devem estar abaixo de um valor previamente determinado de acordo com as características requeridas no produto em que a mistura será aplicada. Sempre que a quantidade de resíduo está acima desse valor, o procedimento normalmente adotado para a sua diminuição é o incremento do tempo de moagem da mistura. Estabilizados os valores de viscosidade, densidade e resíduo, a mistura encontra-se nas condições de ser descarregada do moinho para recipientes onde ocorre a peneiração da mistura. Em seguida é feita a transfega da solução filtrada, sendo a mesma sujeita a novo processo de controlo, quase que exclusivamente visual. No mesmo são verificados e controlados aspetos como: tonalidade, brilho, opacidade, dureza e rugosidade. O mesmo concretiza-se através da preparação da pastilha e/ou da cacharreta. A pastilha

consiste na aplicação de uma camada, da matéria a controlar, sobre uma peça cerâmica cozida e posterior comparação visual com o padrão da mesma. A cacharreta é semelhante à pastilha, no entanto na mesma são aplicadas mais duas camadas da mistura obtida de modo a que sejam perceptíveis as diferentes camadas aplicadas.



Figura 5 - Armazém de material vítreo

Após este processo de controlo e uma vez respeitados os requisitos exigíveis pelo mesmo, o material vítreo encontra-se pronto a seguir para as linhas de produção ou então ser armazenado em depósitos e/ou potes diversos, posteriormente organizados em estantes, conforme se ilustra na Figura 5.

3.3.3 Prensagem

É após este processo que as peças cerâmicas começam a adquirir uma forma semelhante às peças posteriormente utilizadas na construção no pavimento e revestimento de superfícies.

Na base do mesmo está o funcionamento de prensas hidráulicas, às quais chega o pó atomizado, oriundo dos silos em que se encontra armazenado. Começa-se por escolher a ferramenta com os formatos exigidos pela produção, bem como os punções superior e inferior, responsáveis pela impressão do tardo (lado da peça oposto ao vidrado) e da face bela (face vidrada), respetivamente. No trajeto entre os silos e a tremonha onde é depositado o pó atomizado, para posterior alimentação da prensa, é feita uma peneiração com o intuito de desfazer eventuais aglomerados formados por grânulos de pó, bem como resíduos que possam integrar a mistura. Ocorre também uma desferrização do mesmo neste trajeto do pó, efetuada por meio de uma superfície magnética que atrai as partículas ferrosas da mistura. Da tremonha para a prensa, o pó atomizado desce por gravidade, sendo posteriormente conduzido mecanicamente para a zona da prensa onde é feita a compactação dos sedimentos cerâmicos. A base da zona de compactação é formada por um cunho de face (punção), correspondente à face bela da peça. A matriz utilizada é responsável por ditar as dimensões da peça, nomeadamente largura, comprimento e espessura. A espessura da peça depende também da espessura da cavidade formada entre a matriz e a superfície plana da prensa, bem como da pressão exercida pela punção superior. Como tal, um dos aspetos a ter em conta nesta fase do processo é o controlo da pressão que a prensa está a exercer a cada momento.

Por norma, a prensa encontra-se programada para executar automaticamente um dos programas previamente inseridos na mesma, podendo também o controlo da prensa ser efetuado manualmente pelo operador. Todavia, independentemente do modo de operação da prensa, o processo requer o acompanhamento periódico do operador, por forma a minimizar o risco de produção de peças não conformes.

Na prensa, as peças cerâmicas são prensadas com a superfície da peça voltada para baixo, procedendo-se à rotação das mesmas, com recurso a um automatismo mecânico devidamente instalado à saída da prensa para o efeito.

Controlo visual de arestas e vértices

Uma vez na posição de trabalho (tardoz para baixo e face bela para cima), as peças compactadas são alvo de controlo visual por parte de um operador, que verifica a conformidade aparente das arestas e vértices das mesmas, imediatamente após a escovagem da face bela das mesmas.

Secagem

Verificada e atestada a aparente conformidade visual das peças, estas seguem para um secador, responsável pela diminuição do seu coeficiente de humidade. À saída do secador ocorre um processo de aspiração da face bela.

Controlo de densidade e dimensões

Periodicamente algumas peças são alvo de controlo de densidade, sendo as mesmas retiradas da linha após o processo de secagem e transportadas para o forno a fim de serem cozidas e posteriormente alvo de controlo.

O controlo de densidade consiste na determinação da densidade em diversas zonas da peça, sendo este importante, para assegurar que após cozedura do material e consequente retração, o mesmo se encontra dentro de parâmetros toleráveis. É sabido que as zonas de maior densidade, tendencialmente retraem menos aquando do processo de cozedura, daí a necessidade de assegurar a uniformização da densidade nas várias zonas da peça.

No caso da produção de peças de base monoporosa, este aspeto detém menor importância dado que a retração deste material, após cozedura, assume valores consideráveis desprezáveis, todavia importa mesmo assim efetuar o referido controlo.

O controlo das dimensões da peça consiste na medição das dimensões da mesma em 6 pontos, tanto quanto possível, igualmente distribuídos ao longo da sua extremidade e na determinação do eventual desvio, relativamente às dimensões de referência.

As peças que não são alvo de controlo encontram-se nas condições de avançar ao longo da linha de produção para serem alvo dos restantes processos de transformação que lhe estão associados.

Ao longo de todo o processo, o operador deve estar atento ao funcionamento dos diversos automatismos instalados, responsáveis pela produção praticamente autónoma das peças, bem como assegurar o seu correto funcionamento individual e o sincronismo necessário entre eles.

Importa ainda referir que nesta unidade fabril, a taxa de produção neste setor é condicionado pelos posteriores setores da linha de produção. Significa que se alguma das fases posteriores do processo produtivo não tiver capacidade de absorção de toda a produção da “prensagem”, a mesma para e fica a aguardar ordem de reinício de produção.

3.3.4 Linhas de vidrar

Esta secção é responsável pela cobertura das peças de pó atomizado prensado e desumidificado, sendo também ela a ditar o ritmo de funcionamento da prensa que fornece as peças que a alimentam.

As aplicações e processos a que as peças são sujeitas nesta secção, podem ser bastante distintos de referência para referência, pelo que é necessário uma cuidada adaptação da linha, para que seja possível a produção da referência desejada, tanto quanto possível, sem a intervenção humana.

Genericamente e de um modo transversal à maioria das referências atualmente produzidas, o processo produtivo desta secção inicia-se imediatamente após o processo de aspiração das peças secas e escovadas. Em seguida, as mesmas são pulverizadas com água, para facilitar a adesão do engobe à peça, aplicado logo em seguida com recurso a uma fieira. O engobe funciona como um primário, utilizado antes da aplicação do vidro, conferindo o mesmo melhores características de adesão do vidro e coloração. No trajeto entre o aspirador e a fieira de aplicação de engobe, as peças são sujeitas a um processo de sopro, tendo este o mesmo objetivo da aspiração efetuada. Uma vez aplicado o engobe na peça, podem ser feitas aplicações diversas às peças, como a aplicação de pós e fumados, antes de as mesmas passarem por nova fieira onde lhes é aplicado o vidro. Posteriormente, as arestas das peças são

sujeitas a um processo de rebarbagem, que tem por finalidade a remoção do engobe, vidro e/ou tintas que possam ter escorrido, para aquela zona da peça, indesejavelmente. Posteriormente, dependendo da referência em processamento, a mesma pode ser colorada com o recurso a (uma ou à conjugação das) tecnologias de coloração por rolo, Figura 6, (Rotocolor), serigrafia (rolos, quadros, plana, rotativa) e impressão a laser. Cada vez mais as tecnologias de coloração por rolo e serigráficas, vêm a ser substituídas pela impressão a laser, por força dos



Figura 6 - Máquina de coloração por tecnologia Rotocolor

desperdícios de tinta que lhes são característicos e pelas grandes limitações que possuem comparativamente com a impressão a laser, que possibilita um rigor e cadência de produção muito superiores. Nesta fase pode ainda ocorrer a aplicação de fixativos, granilhas, fumados e/ou discos finais.

Um aspeto interessante da impressão a laser é o facto de com esta tecnologia ser possível a rápida coloração de peças, com padrões aleatórios de impressão dentro da mesma referência, o que em certas referências constitui uma grande mais-valia.

A incorporação do engobe e do vidrado nas peças pode em alternativa, ser efetuado com o recurso a campânulas, Figura 7, ou jatos pulverizadores dos mesmos.



Figura 7 - Campânula de aplicação de vidro

No final do processo de coloração é aplicado um engobe refratário na base das peças, para que eventuais escorridos e resíduos de tinta nesta zona da peça, não venham a constituir problemas durante o processo de cozedura ou até mesmo durante a aplicação das peças no setor da construção.

Importa ainda referir que ao longo de toda a linha, estão instalados secadores/sopradores com o intuito de acelerar o processo de solidificação dos diversos materiais aplicados e desta forma evitar problemas que possam advir da elevada viscosidade dos mesmos logo após a sua aplicação.

Na produção de algumas referências de produtos, nomeadamente a “pastilha” que requer a formação de baixos-relevos na peça, a extração do material da mesma é feita

na fase final da linha de conformação e vidragem, por intermédio de uma máquina de corte.

Uma vez terminados os processos de transformação na linha, as peças encontram-se em condições de seguir para a secção onde ocorre a sua cozedura. Estas são depositadas em boxes de armazenamento, que posteriormente são transportadas para o parque de armazenamento ou diretamente para a área de alimentação dos fornos.

3.3.5 Cozedura / Fornos

Este setor é responsável pelo processo de cozedura das peças cerâmicas produzidas, nomeadamente a base monoporosa ou grés e o revestimento vidrado das mesmas. Neste setor, existe um elevado grau de automatização, característica comum à grande maioria dos setores produtivos da fábrica. Todavia, o processo requer a constante monitorização por parte de operadores alocados a esta secção produtiva.

As peças chegam a esta secção em boxes, procedentes da linha de conformação e vidragem ou do parque de armazenamento, a fim de serem sujeitas a um rigoroso processo de cozedura. As referidas boxes são transportadas numa fase inicial para um secador, que aproveita parte do ar quente libertado pelo forno para proceder à secagem das peças cerâmicas antes da sua entrada no forno. O transporte para o secador é feito através de veículos de transporte automatizados denominados de AGV's (Automated Guided Vehicles), representados na Figura 8. Estes veículos são controlados com recurso a um sistema informático criado para o efeito, no qual se encontram programadas as diversas posições disponíveis para carga e descarga das boxes, bem como as rotas que os veículos devem



Figura 8 - AGV - Veículo de transporte de boxes

fazer para a movimentação das mesmas entre as diversas posições. O operador, através do sistema informático dos AGV's, somente precisa de selecionar o local de carga, o local de descarga e o veículo responsável por efetuar o transporte. Com essa informação o sistema e os veículos encarregam-se de efetuar a transferência das boxes.

Uma vez colocada no secador (a box com as peças cerâmicas) e terminado o processo de secagem, de acordo com a disponibilidade para entrada no forno, as peças são transferidas da box para a linha de alimentação do forno. Esta transferência é feita através de um sistema de alimentação automatizado do forno, no qual as peças são submetidas a sopragem para eliminar pó ou outra sujidade que possa originar

defeitos na cozedura. Por forma a precaver eventuais falhas no sistema de alimentação do forno, encontra-se instalado um sistema de compensação que assegura a sua contínua alimentação em caso de falhas ou atrasos dos automatismos.

A alimentação do forno é efetuada de forma contínua e as características de cozedura são previamente estabelecidas pelo operador, de acordo com as características da referência a produzir. De uma forma simplificada, o que varia do processo de cozedura de uma referência para outra é o tempo de ciclo desta e as curvas de temperatura (de cozedura) nas várias zonas do forno. Na cozedura de peças de base monoporosa a



Figura 9 - Forno cerâmico

temperaturas próximas dos 100°C, evitando deste modo o choque térmico brusco, que poderia originar a fratura das mesmas.

temperatura no interior do forno chega aos 1130°C enquanto que em peças de grés, a temperatura máxima atinge valores próximos dos 1175°C. Já na parte final do forno, as peças são sujeitas a um processo de refrigeração para que saiam do forno a

Durante o processo de cozedura podem ocorrer empenos nas peças muitas das vezes contrariados, pelo operador, fazendo variar a temperatura dos queimadores superiores e inferiores das diferentes zonas do forno. Por norma, habitualmente em peças de grés o empeno, à saída do forno, tem o sentido superior enquanto em peças de porosa o empeno toma a direção inferior. Estes empenos podem ser contrariados aumentando a temperatura dos queimadores do sentido contrário ao empeno. Este aumento de temperatura dos queimadores deve ser acompanhado por uma redução diretamente proporcional dos queimadores do sentido inverso, para que a diferença de temperatura entre queimadores superiores e inferiores seja a mesma em cada zona do forno.

À saída do forno, um operador efetua um controlo visual às peças. Seguidamente, as peças são carregadas para as boxes por um sistema automático semelhante ao sistema de descargas das mesmas, sendo posteriormente transportadas para o parque de boxes de produto cozido de onde seguem para as secções de escolha ou de corte e retificação.

3.3.6 Corte e Retificação

Nesta secção procede-se ao corte e retificação de peças cerâmicas cozidas. Os processos de corte têm como finalidade a obtenção de peças de dimensões mais reduzidas que o habitual, cuja produção, nas dimensões finais pretendidas, seria difícil ou faria aumentar os tempos de ciclo de produção e diminuir a eficiência da mesma. Grande parte das vezes as referidas peças são barras, frisos ou rodapés. Por vezes, procede-se também ao aproveitamento, nesta secção, de peças não conformes. Através do corte destas e consequente formação de peças de menores dimensões, é muitas das vezes possível extrair os defeitos das mesmas, reduzindo assim a quantidade de caco/resíduo produzido. Trata-se de um processo simples, efetuado em máquinas de operação manual, pelo que é indispensável a utilização ou permanência a tempo inteiro de um ou mais operadores nesta secção para que a mesma possa funcionar. As referidas máquinas procedem ao corte do material através da ação mecânica de discos de diamante, um processo muito semelhante ao corte com uma rebarbadora manual. Uma vez cortado, o material é embalado manualmente e encaminhado para a secção de produto acabado.

O processo de retificação de peças consiste no corte e remoção das arestas das mesmas, por forma a formar novas arestas, vértices e ângulos (retos) entre arestas bem definidos. No processo de fabrico destas peças, dá-se menor importância ao acabamento das margens nas secções produtivas anteriores, pelo facto da retificação extrair essas imperfeições através do corte e extração do referido material. Após o corte faz-se a biselagem (polimento com vista a evitar o corte aquando do manuseamento manual das peças) das arestas seguida de um processo de sopragem para que a água utilizada no corte seja retirada da superfície das peças. Este processo ocorre acoplado a um circuito fechado de água, água esta que é utilizada no processo de corte para evitar o aquecimento das peças cerâmicas e dos discos de corte, proporcionando assim um melhor acabamento à peça cortada e maior durabilidade aos discos de corte. O processo de corte com água reduz também, muito significativamente, a formação e propagação de pó. Em seguida, e por forma a aperfeiçoar o processo de extração de água das peças, estas passam por um secador onde através de ar quente se induz a sua evaporação. Seguidamente, procede-se à escovagem das peças e ao seu transporte para a secção de escolha e embalamento.

3.3.7 Escolha e embalamento

A escolha consiste, como o próprio nome evidencia, na escolha do material por categorias e consequente separação do mesmo, de acordo com critérios previamente definidos para cada referência produtiva. Começa-se por retirar quatro peças de cada

box (ou três no caso do produto Pietra), para constituição do pano. Este consiste na colocação das peças anteriores no chão para melhor visualizar as diferenças de tonalidades entre elas. Paralelamente a este processo, efetua-se a gestão de padrões, através da comparação das peças obtidas com a peça padrão.

Por norma as peças são separadas em quatro categorias: 1ª, 2ª e 3ª Escolhas e Caco. As peças de 1ª escolha podem ainda, em certas referências, ser alvo de subdivisão, originando peças de diferentes calibres, de acordo com o estabelecido e registado em tabelas previamente elaboradas para o efeito.

Este processo tem início com o transporte e posterior descarregamento das boxes de produto acabado, para a linha de escolha. Com auxílio de maquinaria adequada, o material é retirado da box, anteriormente transportada para o local por um AGV, e feito seguir pela linha de escolha, até um primeiro posto de trabalho, onde um operador faz o controlo visual de cada uma das peças. Dependendo das especificações técnicas de cada referência, a mesma assinala as peças com simbologia correspondente a 2ª escolha, 3ª ou caco, simbologia esta reconhecível pela máquina de escolha, instalada numa posição posterior da linha. Após escolhidas pela referida máquina, as peças são agrupadas, segundo as respetivas categorias de escolha e calibre, num *Synthesis*, que posteriormente as encaminha para o local onde é feita a embalagem das mesmas, de acordo com a capacidade das caixas utilizadas para o efeito. Depois de embalado o material é feita a impressão na caixa da referência do produto, da categoria de escolha, calibre (quanto aplicável), lote produtivo e código do operador responsável pela escolha do material. Seguidamente, as caixas com o produto acabado, são retiradas da linha, por um robot, Figura 10, e colocadas em paletes,



Figura 10 - Robot de formação de paletes
por forma a facilitar o seu transporte e armazenamento.

Uma vez formada a paleta, um operador procede à cintagem da mesma, para assegurar que nenhuma caixa cai da paleta durante as diversas operações de transporte e armazenamento de que o material será alvo. Quando devidamente cintadas as caixas da paleta, esta é transportada por um operador, com auxílio de uma empilhadora ou porta paletes, para local adequando.

Este processo encontra-se bastante automatizado, cingindo-se a intervenção do operador no processo, ao controlo visual inicial e à cintagem final das caixas da paleta.

Todavia é necessária a constante monitorização de todo o processo, por forma a responder rapidamente a eventuais problemas que possam ocorrer na linha de escolha, para os quais o sistema automatizado não consegue obter solução.

Importa ainda referir, que o processo de troca de referência produtiva e consequente adaptação da linha à nova referência, torna-se bastante moroso em certos casos, tendo como consequência a paragem da linha de escolha. O tempo de paragem desta, é diretamente proporcional ao tempo de intervenção que é feita na mesma, pelo que a eficácia e eficiência deste processo é algo verdadeiramente significativo para a produtividade desta secção.

3.3.8 Laboratório

No laboratório procede-se à inspeção e realização de ensaios de quatro tipos de produtos: matérias-primas para a produção de pasta, matérias-primas para a produção de vidro, produtos em curso de produção e produtos finais.

Matérias-primas para a produção de pasta

A inspeção e os ensaios das MP para a produção de pasta consistem na realização de ensaios (testes) ao teor de humidade, resíduo ao peneiro, perda ao rubro, retração seco-cozido, absorção de água e cor em cozido.

Matérias-primas para a produção de vidro

As MP para a produção de vidro são alvo de controlo de cor, brilho e textura.

Produtos em curso de fabrico

No que concerne à inspeção e ensaios aos produtos em curso de produção, os mesmos encontram-se separados em quatro: preparação de pasta, prensas, secagem e fornos. Relativamente à preparação de pasta, são efetuadas medições e controlos que permitam aferir as características de densidade, viscosidade, percentagem de resíduo, percentagem de ferro, percentagem de sólidos, densidade aparente e fluidez das pastas. Nos produtos que à saída das prensas são alvo de inspeção, a mesma consiste no controlo de dimensões e testes de resistência. Nas prensas é também feita a recolha de pó atomizado, que depois de pesado e sujeito a um processo de secagem permite determinar a humidade relativa do mesmo e verificar se este se encontra dentro dos parâmetros estipulados. O controlo da secagem consiste na realização de um ensaio à humidade residual das peças



Figura 11 - Anel de Buller

cerâmicas à saída do secador, instalado após a prensa. O controlo dos fornos comporta a medição das dimensões dos anéis de Buller que percorreram as diferentes regiões do forno ao longo do respetivo ciclo de cozedura e comparação com os valores de referência para os mesmos. O anel de Buller é um pequeno objeto, de composição cerâmica, que após passagem pelo forno expande ou retrai, permitindo controlar a temperatura através do diferencial entre as suas dimensões iniciais (antes de ir ao forno) e finais (depois de cozido).

Produto final

Relativamente ao produto final, a inspeção e ensaios do mesmo consistem na recolha de amostras, na secção de escolha, e sujeição das mesmas a testes. Tratam-se de testes de resistência à flexão, abrasão/desgaste e comportamento quando submetidos a soluções ácidas e básicas. As referidas soluções foram astuciosamente escolhidas, por forma a melhor simular o comportamento das peças cerâmicas na presença dos produtos normalmente utilizados em ambiente doméstico, como por exemplo: azeite, soluções de ácido clorídrico, hidróxido de potássio, cloreto de amónia, cloreto de potássio e ácido cítrico. No caso das peças em grés, as mesmas são ainda sujeitas ao ensaio de resistência ao choque ligeiro.

4. Apresentação do trabalho desenvolvido

Neste capítulo pretende-se apresentar o problema de programação da produção estudado (secção 4.1) e o método utilizado na sua resolução (secção 4.2). O método de resolução do problema está dividido em três subsecções: Caracterização do problema e tratamento inicial (subsecção 4.2.1), Modelo de Programação Inteira Mista (subsecção 4.2.2) e Heurística Construtiva (subsecção 4.2.3).

A consciência da importância de uma eficiente programação da produção e o reconhecimento de fortes oportunidades de melhoria através da introdução de algum automatismo ao processo, constituíram a principal motivação para a empresa GPP apostar neste projeto. Atualmente o processo de PP é um processo moroso e extenuante para os recursos humanos responsáveis pela sua elaboração. O facto de o mesmo incidir sobre um catálogo com mais de 800 referências e a análise das necessidades de produção para cada uma delas, ter de ser efetuada uma a uma, sem qualquer tipo de automatismo, constitui um processo extremamente repetitivo que requer muito tempo humano para a sua execução, representando o mesmo cerca de 80% do tempo, atualmente, necessário à elaboração do Plano de Produção quinzenal. Os restantes 20% correspondem ao tempo, atualmente, necessário à melhor distribuição das várias referências pelas várias linhas de produção e melhor sequenciação das mesmas.

O processo de resposta a prazos de disponibilidade foi visto também como um processo com fortes oportunidades de melhoria, caso se conseguisse a criação de uma ferramenta capaz de verificar rapidamente o dia de calendário que permitisse produzir uma dada referência no menor prazo possível, assim como a linha responsável pela sua produção. Diariamente chegam ao programador da produção dezenas de pedidos de prazo de disponibilidade e a sua resposta deve ser dada no próprio dia, sob o risco da acumulação de pedidos de vários dias inviabilizar o compromisso de resposta ao cliente em 48 horas, assumido pela empresa.

Pela forma como é executado, o processo de PP encontra-se bastante condicionado pela intuição humana. A introdução de algum tipo de automatismo neste processo, foi visto pela empresa como um meio que permitiria também tornar o processo mais isento de intuição e possivelmente obter melhores resultados, tendo o mesmo contribuído também para reforçar a sua aposta neste projeto.

Para além do tempo poupado e consequente libertação dos recursos humanos envolvidos nos processos acima referidos, com a utilização de uma heurística o processo de PP fica mais descentralizado na medida em que é reduzida a

dependência do programador e o processo se torna mais fácil de executar por operadores com menos experiência naquela atividade.

4.1 Apresentação do projeto

No processo de Programação da Produção da Love Tiles são consideradas duas séries de aspetos: uma encerra as restrições de cariz operacional e produtivo e a outra relaciona-se com aspetos que visam ajustar a produção ao cumprimento dos objetivos táticos da organização.

O referido processo de PP consiste na distribuição das várias referências produtivas pelas 10 linhas de conformação e vidragem operacionais da unidade fabril (no total encontram-se instaladas 11 linhas mas a “linha 7” está desativada). A referida alocação de referências está sujeita a restrições produtivas e de capacidade diversas, não podendo as mesmas ser desprezadas em momento algum do processo de programação da produção, sob o risco de ser produzido um plano desajustado, cuja utilidade será questionável.

Recentemente, por razões estratégicas e de nível de serviço prestado ao cliente, a política de “produção para *stock*” que se adequou durante vários anos às necessidades e interesses da empresa, tem vindo a ser substituída por políticas e pensamentos *Lean*, tentando-se caminhar para o desejável “*stock zero*” e produção “*just-in-time*”. A produção é cada vez mais impulsionada pela procura real do mercado, dimensionando-se os lotes de acordo com as necessidades ditadas pelas encomendas colocadas. Aquando da necessidade de produção de uma dada referência, por motivos relacionados com a falta de stock, tenta-se dimensionar o lote produtivo para que a quantidade produzida satisfaça as encomendas colocadas até ao momento e as necessidades previsionais até à sua próxima produção. Esta política tem por objetivo proporcionar ao cliente um nível de serviço elevado no que respeita à rápida disponibilidade de produtos.

Atualmente, a programação da produção é desenvolvida com recurso à ferramenta Microsoft Excel e tem duas finalidades: definir e entregar (em tempo útil) à secção de produção o programa de produção quinzenal da fábrica e obter uma visão holística das necessidades produtivas, presentes e futuras. Deverá, portanto, quinzenalmente ser gerado e entregue um plano de produção quinzenal à equipa de produção, para que a mesma se faça provir das matérias-primas e outros recursos necessários à produção das respetivas referências. Relativamente à outra vertente do programa de

produção, o mesmo é útil para a elaboração e visualização do MPS da unidade industrial, pelas diversas vantagens que o mesmo proporciona, e através dele equilibrar a oferta e a procura a fim de ser possível a absorção das flutuações do mercado. É também com base no plano de produção elaborado que é dada resposta aos pedidos de prazo de disponibilidade, colocados pelos clientes. A necessidade de pedido de prazo de disponibilidade por parte do cliente, surge sempre que o mesmo pretende adquirir uma referência cuja quantidade disponível em *stock* é inferior à pretendida. Por parte da empresa há um compromisso com os clientes de lhes dar uma resposta, ao pedido de prazo, em 48 horas. A resposta consiste na data de previsível disponibilização da referência ao cliente. Por razões relacionadas com a satisfação do cliente e por conhecimento, por experiência, do tempo que habitualmente o cliente está disposto a esperar pela disponibilização dos produtos, tenta-se que o prazo dado não seja superior a 6 semanas. Respostas com prazos superiores a este período correm um sério risco de se transformarem em vendas perdidas.

Tem-se por conhecimento do processo produtivo e da atual capacidade instalada, que uma linha produtiva só dispõe de capacidade para produzir uma referência (um lote de uma dada referência) por dia. Por questões relacionadas com a força de trabalho humano e respetivos horários laborais, só devem ser agendadas produções para seis dias semanais (de segunda-feira a sábado), apesar da fábrica laborar setes dias por semana. A cada linha está associada uma prensa, com um *setup* de troca de ferramenta, associado à troca de formato das peças (dimensões). Ao referido *setup* atribui-se, um dia aquando da elaboração do programa de produção, dado que este é o tempo médio despendido na execução da preparação da linha. Existem ainda dois tipos de *setup*, que não são contabilizados no plano de produção mas cuja consideração tem interesse. São o *setup* de mudança de série e o de mudança de cunhos da ferramenta. A série, para facilitar a sua descrição, pode ser considerada como sendo a coleção a que uma dada referência pertence. Normalmente produtos da mesma série e do mesmo formato de ferramenta, apenas diferem entre eles na cor do vidro ou na gráfica que lhe é impressa, sendo o mesmo, em média, executado num período inferior a uma hora. Por sua vez o *setup* de mudança de cunhos está associada a uma troca parcial da ferramenta, concretizável em poucas horas. Esta mudança está associada à espessura das peças ou ao relevo das mesmas. Apesar do reduzido tempo associado a estes dois *setups* comparativamente com os *setups* de troca de ferramenta completa e dos mesmos não serem traduzidos e contabilizados no PP, convém haver o cuidado de os minimizar, sempre que possível, por forma a facilitar o labor à produção.

O processo de alocação de produções aos vários dias do calendário e às linhas de conformação e vidragem, inicia-se com a distinção de tudo aquilo que possui base em grés (pavimento), do que possui base em monoporosa (revestimento). Seguidamente, tendo em consideração as características da referência a produzir e das linhas de conformação e vidragem, nomeadamente o formato (dimensões), a tecnologia gráfica e as várias aplicações, deve proceder-se à alocação de cada referência a uma linha que permita produzi-la. Nesta alocação, se existir necessidade de produzir referências da mesma série, com prazos de entrega próximos, estas devem ser agrupadas e produzidas sequencialmente, tendo em consideração a sequência de cores da mais clara para a mais escura, uma vez que esta facilita a limpeza e preparação da linha, constituindo tempos de *setup* mais curtos. Estes *setups*, apesar de não serem contabilizados em termos de consumo de tempo no plano de produção, devem ser tidos em consideração aquando da sua elaboração, uma vez que permitem a agilização das tarefas na produção, conferindo maior folga aos operários do setor, disponibilizando-os assim para a execução de outras atividades.

O volume de produção é definido e condicionado pela capacidade de cozedura semanal dos fornos ligados, estimada em cerca de 23 500 m² por forno. Independentemente do número de fornos ligados no horizonte temporal a considerar, deve garantir-se a sua total ocupação, pelo que a capacidade de ocupação funciona ao mesmo tempo como valor máximo e mínimo de produção, com uma tolerância de mais ou menos 5% de carga. Atualmente encontram-se instalados e ligados três fornos, estando a sua capacidade estimada em cerca de 70 000m².

As referências deverão ser agendadas de modo a que o *lead time* das mesmas seja tão curto quanto possível. Assume-se, neste caso, como *lead time* o número de dias entre a colocação da encomenda da referência, por parte do cliente, e a data em que a mesma lhe é disponibilizada. Atualmente aceita-se como razoável a entrega de um produto em rutura num prazo máximo de quatro a seis semanas, sendo este o tempo máximo que, na maioria dos casos, o cliente está disposto a esperar pela disponibilidade do artigo. Preferencialmente opta-se por disponibilizar as referências no menor tempo possível caso isso não prejudique o planeamento global. Disponibilizar uma referência no menor prazo de tempo é sempre preferível. Todavia se a inclusão da referência no plano causar fortes constrangimentos na estrutura produtiva atual e se o mesmo se traduzir num prejuízo para o plano de produção global (horizonte temporal igual ou superior a 90 dias), opta-se por não o fazer. A regra é não piorar a programação global em detrimento de algum caso particular.

Cada referência tem uma carga de moagem mínima de vidro associada, ditando a mesma não só a dimensão do lote mínimo produtivo mas também o tempo de processamento do mesmo. Por norma uma carga de vidro corresponde à capacidade diária de produção de uma linha, contudo verificam-se várias exceções.

Uma linha de conformação e vidragem tem como características principais os formatos (dimensões) passíveis de serem nela produzidos e as aplicações (impressão digital, serigrafia, *rotocolor*, outras) que a mesma permite aplicar nas bases de grés ou monoporosa.

Aos Domingos não se efetuam trocas de formato (*setups* de família) nas prensas, devendo este aspeto ser preconizado no PP e sempre que possível adiado ou antecipado para outro dia.

Deverão ser considerados eventuais atrasos na linha de conformação e vidragem, bem como períodos de intervenção e/ou manutenção na mesma, sempre que estes ocupem ou ocasionem períodos de inatividade iguais ou superiores a um dia.

No sentido de tratar o problema da programação da produção desenvolveram-se duas formulações. Ambas consideram o escalonamento da produção de várias linhas. A primeira, através de programação linear inteira mista, tenta resolver o problema através da determinação da solução ótima para o mesmo. A segunda, através de programação na linguagem Java, devolve uma solução heurística, admissível para o problema. O desenvolvimento das duas formulações deveu-se à necessidade de obtenção de soluções, de qualidade, para o problema em tempo útil. Para o problema em estudo, verificou-se que o modelo ótimo, para uma instância de pequena dimensão em termo do número de referências (menor que 50), era capaz de devolver a solução ótima para o problema em poucos minutos. Todavia, o mesmo não se verificou para instâncias maiores, justificando-se, portanto, a criação da ferramenta heurística, que em segundos permite obter soluções, de qualidade, admissíveis para o problema.

4.1.1 Caracterização do problema e tratamento inicial

O problema anteriormente exposto, de acordo com a literatura estudada, pode ser considerado um problema de programação de máquinas paralelas idênticas, com *setups* de família, com prazos de entrega, com lotes mínimos de produção, com relações de compatibilidade entre máquinas e referências e com capacidades de produção. O mesmo envolve um conjunto de referências produtivas, a produzir por um conjunto de máquinas. As referências são produzidas sequencialmente, em cada máquina, podendo as máquinas, sem perda de generalidade, ser denominadas por

1,..., m. Considera-se como máquina uma linha de conformação e vidragem com as suas diversas características e particularidades. Devem ser tidos em consideração constrangimentos comuns neste tipo de processo, como o facto de nenhuma linha poder processar mais do que uma referência ao mesmo tempo e as tarefas da mesma referência não se poderem sobrepor ou ser realizadas em mais do que uma linha. Significa isto dizer que se a produção de uma referência for alocada a uma linha, todas as tarefas da mesma terão de ser realizadas nessa linha.

É necessária, como dado de entrada, a matriz de compatibilidade que faça a correspondência entre as i referências produtivas e as m máquinas (linhas) capazes de as produzir, bem como os tempos de processamento de cada lote produtivo (lote mínimo) em cada máquina.

A capacidade dos fornos é limitada e fixada atualmente nos 73500 m² por semana.

A cada plano de produção está associado um horizonte temporal, partido em intervalos de igual duração, cuja unidade mínima corresponde a 1 dia.

4.1.2 Modelo de programação inteira mista (PIM)

De seguida é apresentada a formulação de um modelo exato de PIM criado para encontrar a solução ótima para o problema da programação da produção na indústria cerâmica em estudo.

Índices

N	Número de referências: $i, j, s \in 1, \dots, N$
K	Número de linhas de conformação e vidragem: $k \in 1, \dots, K$
T	Número de períodos do horizonte temporal: $t \in 1, \dots, T$
F	Número de famílias: $f \in 1, \dots, F \wedge q \in 1, \dots, F$
W	Número de semanas de programação: $w \in 1, \dots, W$

Parâmetros

d_i	Data de entrega da referência i
e_{ik}	Compatibilidade entre referências e linhas $e_{ik} = 1$ se referência i pode ser processada na linha k $e_{ik} = 0$ se referência i não pode ser processada na linha k
L_i	Lote mínimo de produção da referência i (em m ²)
P_i	Número de dias de produção da referência i
cap	Capacidade semanal dos fornos (em número de m ²)
S_k	Família para a qual a linha k está preparada no início do horizonte temporal
$r[f]$	Matriz que contém as referências que pertencem a cada família

Variáveis de decisão

X_{iftk}	$\begin{cases} 1 & \text{se a referência i da família f inicia o seu processamento no período t na linha k} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
Y_{ftk}	$\begin{cases} 1 & \text{se existe um } setup \text{ da família f no período t na linha k} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
Z_{ftk}	$\begin{cases} 1 & \text{se o estado de } setup \text{ da família f na linha k é conservado de t para t + 1} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
C_{if}	instante de conclusão da referência i, da família f

$$\text{Min} \sum_f \sum_{i \in r[f]} c_{if} + \sum_f \sum_t \sum_k y_{ftk} \quad (1)$$

$$\text{s.a.:} \quad \sum_{k:e_{ik}=1} \sum_t x_{iftk} = 1 \quad , \forall f, \forall i \in r[f] \quad (2)$$

$$x_{iftk} + x_{jqhk} \leq 1 \quad , \forall f, \forall q, \forall i \in r[f], \forall t, \forall j \in r[q], \forall k: e_{ik} = 1 \wedge e_{jk} = 1, \forall h: h \geq t \wedge h \leq t - 1 + P_i \quad (3)$$

$$x_{iftk} + y_{qhkh} \leq 1 \quad , \forall f, \forall i \in r[f], \forall t, \forall q: q \neq f, \forall j \in r[q], \forall k: e_{ik} = 1 \wedge e_{jk} = 1, \forall h: h \geq t \wedge h \leq t - 1 + P_i \quad (4)$$

$$x_{iftk} + y_{fhkh} \leq 1 \quad , \forall f, \forall i \in r[f], \forall t, \forall k: e_{ik} = 1 \wedge e_{jk} = 1, \forall h: h \geq t \wedge h \leq t - 1 + P_i \quad (5)$$

$$x_{iftk} + x_{sfhk} \leq 1 \quad , \forall f, \forall i \in r[f], \forall t, \forall s \in r[f] \wedge s \neq i, \forall k: e_{ik} = 1 \wedge e_{sk} = 1, \forall h: h \geq t \wedge h \leq t - 1 + P_i \quad (6)$$

$$\sum_f \sum_{i \in r[f]: e_{ik}=1} x_{iftk} + \sum_f y_{fthk} \leq 1 \quad , \forall k, \forall t \quad (7)$$

$$c_{if} - \sum_{k:e_{ik}} \sum_t (t - 1 + P_i) \times x_{iftk} \geq 0 \quad , \forall f, \forall i \in r[f] \quad (8)$$

$$\sum_f z_{ftk} = 1, \forall k, \forall t \quad (9)$$

$$x_{iftk} + z_{q,t-1,k} \leq 1, \forall f, \forall i \in r[f], \forall q: q \neq f, \forall k: e_{ik} = 1, \forall t \quad (10)$$

$$y_{ftk} + z_{q,t-1,k} - z_{ftk} \leq 1, \forall f, \forall q: q \neq f, \forall k, \forall t \quad (11)$$

$$z_{ftk} + z_{q,t-1,k} - y_{ftk} \leq 1, \forall f, \forall q: q \neq f, \forall k, \forall t, \forall q: q \neq f, \forall k \quad (12)$$

$$z_{ftk} - y_{ftk} - z_{f,t-1,k} \leq 0, \forall f, \forall k, \forall t \quad (13)$$

$$c_{if} \leq d_i, \forall f, \forall i \in r[f] \quad (14)$$

$$\sum_f \sum_{i \in r[f]} \sum_{t: t \in w} \sum_{k: e_{ik}=1} L_i \times P_i \times x_{iftk} \leq cap, \forall f, \forall i \in r[f], \forall k: e_{ik} = 1, \forall t, \forall w \quad (15)$$

$$z_{s_k 0k} = 1, \forall k \quad (16)$$

$$z_{f0k} = 0 \quad , \forall f: f \neq s_k \quad (17)$$

$$, \forall k$$

$$Y_{s_{f0k}} = 0 \quad , \forall f \quad (18)$$

$$, \forall k$$

$$x_{if0k} = 0 \quad , \forall f \quad (19)$$

$$, \forall i \in r[f]$$

$$, \forall k: e_{ik} = 1$$

$$x_{iftk} \in \{0,1\} \quad , \forall f \quad (20)$$

$$, \forall i \in r[f]$$

$$, \forall t$$

$$, \forall k$$

$$y_{ftk} \wedge z_{ftk} \in \{0,1\} \quad , \forall f \quad (21)$$

$$, \forall t$$

$$, \forall k$$

$$C_{if} \in N^+ \quad , \forall i \in r[f] \quad (22)$$

$$, \forall f \in r[f]$$

O objetivo desta formulação é a minimização dos instantes de conclusão de todas as referências assim como o tempo total gasto em preparações (*setups*) (1). As restrições (2) garantem que cada referência só pode iniciar o seu processamento numa única máquina e num único período. As inequações (3) (4) (5) e (6) asseguram que enquanto estiver a ser processado um determinado lote, numa dada linha, não pode ser agendada a produção de nenhuma outra referência ou *setup* nessa linha. O conjunto de restrições (7) garante que em cada período de uma dada linha apenas pode ocorrer um dos três seguintes estados: a linha está parada, a linha está a processar uma referência ou a linha está a ser preparada. O instante de conclusão do processamento de cada lote (ou referência) é determinado pela inequação (8). A equação (9) força a que em cada máquina e em cada período, só se possa preservar o estado de *setup* de uma só família. Se em t é iniciada a produção de uma nova referência, então nessa máquina e período não pode ser preservado o *setup* de uma família diferente daquela que vai ser processada (10).

O conjunto de restrições (11) e (12) asseguram a mudança da família, que é preservada para o período seguinte, sempre que ocorra um *setup*. Isto é, a variável Z tem de mudar de uma família para outra, se ocorrer um *setup*. De um modo mais concreto, estas restrições garantem que se a família que é preservada de $t-1$ para t for diferente da família preservada de t para $t+1$, torna-se necessária a ocorrência de um *setup* e o mesmo é assegurado pela restrição.

As restrições (13) garantem a correta preservação do *setup*. Isto significa que se a máquina k preservar o estado de *setup* da família f do período t para o período $t+1$, então na máquina k foi efetuada uma preparação para esta família no período t ou o estado de *setup* da família f foi preservado de $t-1$ para t .

O cumprimento dos prazos de entrega é assegurado pelas restrições (14). As restrições (15) garantem que o agendamento proposto não excede a capacidade de cozedura semanal dos fornos. As equações (16), (17) e (18) dão indicação do estado da máquina no início do horizonte temporal. Ou seja, fornecem a informação da família para a qual as máquinas estão preparadas no início do horizonte temporal, fornecendo deste modo a indicação da possibilidade de começar logo a produzir no primeiro dia do horizonte temporal, sem necessidade de preparação da linha (*setup*) caso seja processada essa família inicial. As equações (19) garantem que no período zero nenhum lote é processado. Ou seja, só é possível agendar referências para datas posteriores à data de início do horizonte temporal de programação.

A integralidade das variáveis de decisão é assegurada pelas restrições (20), (21) e (22). Concretamente, as restrições (20) e (21) garantem que as variáveis só podem tomar valores binários e a restrição (22) garante que os instantes de conclusão das referências só podem assumir valores inteiros positivos.

4.1.3 Heurística construtiva

De seguida apresenta-se a heurística construtiva desenvolvida para a resolução do PP da Love Tiles. O algoritmo heurístico, programado em linguagem de programação JAVA, agrega várias funções, previamente desenvolvidas, que vão sendo chamadas, ao longo da sua execução, de acordo com o objetivo pretendido. O algoritmo pode ser executado com três principais aplicações:

- 1) Obter uma visão macro das necessidades produtivas;
- 2) Obter prazos de disponibilização/entrega;
- 3) Obter soluções admissíveis para o PP.

A aplicação **1)** permite visualizar listas de referências com necessidades produtivas no mesmo período. Assim, é possível visualizar, de forma agrupada, as referências com necessidades produtivas à data de execução do programa e nos 30, 60 e 90 dias seguintes. Nestas, é possível visualizar o código da referência, a descrição, a quantidade em *stock* livre (diferença entre as existências físicas e a quantidade encomendada), a quantidade a produzir (lida dos dados extraídos do sistema informático ou determinada pela heurística de acordo com a quantidade necessária e o lote mínimo de cada referência) e o prazo de disponibilização/entrega.

A aplicação **2)** permite ao operador obter o melhor prazo de produção para uma dada referência. Nesta opção o utilizador terá de introduzir o código da referência em causa, a quantidade encomendada e a data máxima de entrega para a mesma. Após a introdução destes dados a heurística tenta alocar a respetiva produção ao calendário de trabalhos das linhas, sem incorrer em atrasos nos compromissos já estabelecidos, devolvendo a data para a qual ficou agendada a produção, ou uma mensagem a alertar para a impossibilidade de a produzir dentro do prazo definido.

A aplicação **3)** permite obter planos de produção válidos e encerra dois passos principais: o 1º com o objetivo de atribuir as referências às linhas de produção e o 2º cujo objetivo é fazer o escalonamento das referências atribuídas às linhas, de acordo com critérios previamente estabelecidos.

Definição do “ponto zero”

Para que a heurística possa ser utilizada como ferramenta auxiliar no processo de programação da produção, torna-se necessário definir o que se apelidou de “ponto zero”. Esta definição consiste no fornecimento à mesma do instante (data) a partir do qual deverá começar a calendarizar as produções, bem como a lista de produções agendadas para períodos anteriores ao mesmo, à qual se decidiu chamar “produção fixa”. O algoritmo encontra-se programado para ignorar o conjunto de referências pertencentes ao ficheiro com a produção fixa. Deste modo, evita-se que a heurística sugira a produção de referências já em vias de fabrico. Depois de definido o “ponto zero”, são fornecidas à heurística as informações relativas às referências a programar. Assim, o algoritmo começa por solicitar ao operador a introdução da data de início de programação procedendo em seguida à validação da mesma, por forma a garantir que os caracteres introduzidos correspondem a um formato e a uma data válida.

Leitura dos dados de entrada

Posteriormente é feita a leitura dos dados que permitirão “alimentar” o algoritmo com informações relativas às características e necessidades produtivas das referências alvo de programação. Inicialmente é lido o ficheiro (“produção fixa”) que contém as produções agendadas até à data de início de programação. Este contém as produções atribuídas ao calendário de trabalhos das linhas de conformação e vidragem, sendo as mesmas fixas e inalteráveis. Em seguida são lidos dois ficheiros de dados. O primeiro contém as referências a considerar no processo de programação, bem como as suas características (produtivas) relevantes para a elaboração do PP, nomeadamente o código da referência, que será usado como chave primária nas várias operações do programa, a descrição pela qual a referência é vulgarmente conhecida, a série a que pertence, o formato de prensa (formato da ferramenta), o formato do conjunto ferramenta-cunhos, as linhas de conformação e vidragem onde a mesma pode ser produzida, a dimensão do lote mínimo de produção e o tempo de processamento do mesmo. Este ficheiro foi criado no início da formulação da heurística, com base nas informações utilizadas no processo de PP atual da empresa, com o propósito de “alimentar” a heurística e deve ser atualizado sempre que surjam novas referências. Para facilitar a sua menção futura, apelide-se o mesmo como ficheiro “base”. O segundo ficheiro deverá ser extraído dos sistemas de informação da empresa, imediatamente antes de correr a heurística, para que a informação seja a mais atualizada e credível possível. O mesmo contém informações relativas ao acumulado de vendas, às encomendas colocadas e ainda não expedidas, à quantidade em *stock* (existências físicas), necessidades previsionais futuras e datas de entrega de referências. Denomine-se este ficheiro por “stampá”.

Determinação da prioridade das referências

Após a leitura dos referidos ficheiros, cada uma das referências é classificada segundo um código de cores. O código de cores das referências é um mecanismo adotado pela empresa para permitir uma melhor gestão visual das necessidades produtivas, estando cada cor associada a um prazo ideal de produção, atendendo às necessidades de satisfação de encomendas, como se ilustra na Tabela 1.

Tabela 1 - Simbologia das cores atribuídas às referências

Cor	Simbologia
Vermelho	Produção já confirmada. Já estabelecida a quantidade a produzir e o prazo de entrega.
Laranja	Em rutura de <i>stock</i> . As encomendas são superiores à quantidade em <i>stock</i> . Atualmente já é necessária a produção mas ainda não foi definido o prazo de entrega.
Verde	Prazo de produção ≤ 30 dias
Amarelo	$30 \text{ dias} > \text{Prazo de produção} \leq 60 \text{ dias}$
Azul	$60 \text{ dias} > \text{Prazo de produção} \leq 90 \text{ dias}$
Branco	Prazo de produção > 90 dias

Para proceder ao sequenciamento das referências é necessário que todas possuam uma data de entrega (data de disponibilidade ao cliente). Segundo a classificação de cores anterior, só as referências a vermelho é que possuem a referida data nesta fase do processo. Para as restantes cores, a mesma é determinada com base no conceito de tempo de cobertura de *stock* e é calculada com base nas fórmulas:

$$\text{Cobertura de Stock} = \frac{\text{Quantidade em stock}(m2)}{\text{Vendas últimos 90 dias}(m2)} \times 90(\text{dias})$$

$$\text{Quantidade em stock} = \text{Quantidade existente} - \text{Quantidade encomendada}$$

$$\text{Data de entrega} = \text{Data em que se está a definir o PP} + \text{Cobertura de stock}$$

Determinando a data de entrega deste modo, assume-se a satisfação imediata das ruturas de *stock*, isto é, o stock do produto será repostado no dia em que chegar a zero. Esta satisfação imediata é na prática impossível dada a dimensão do catálogo de referências atual. Para tal ser possível a capacidade de produção teria de ser superior à atualmente instalada ou reduzida a dimensão dos atuais lotes de produção. Para contornar esta adversidade, pode ser definido pelo operador um *lead time* entre a data de entrada em rutura de uma referência e a data em que se pretende que a mesma volte a estar disponível para o cliente. Isto é, definir o período de reposição do *stock*, em vez de assumir a reposição imediata.

Determinação da quantidade a produzir

Uma vez determinada a data de entrega das referências o passo seguinte consiste na determinação da quantidade a produzir. Esta é calculada com base no valor de necessidade previsionar, presente no ficheiro “stampa”, e no lote mínimo da referência. O programa ajusta a quantidade a produzir para o menor valor inteiro, múltiplo do lote mínimo, que satisfaça as necessidades produtivas da referência em causa. O número de dias necessários para produzir a referida quantidade também é tido em consideração e calculado neste passo, através da divisão inteira da quantidade a produzir pelo lote mínimo, arredondando posteriormente o valor obtido, por excesso, para o número inteiro superior mais próximo. Importa referir que os lotes mínimos de cada uma das referências estão dimensionados para que o seu tempo de processamento seja de 1 dia.

Execução e modo de funcionamento do menu

Após a execução das funções relativas às funcionalidades anteriores é chamado e executado o menu que encerra as várias funcionalidades do programa criado. Este encontra-se organizado da seguinte forma:

Menu:

1) – Visualização

- 1.1) - Produção fixa
- 1.2) - Referências por cor
 - 1.2.1) - Laranja
 - 1.2.2) - Vermelho
 - 1.2.3) - Verde
 - 1.2.4) - Amarelo
 - 1.2.5) - Azul
 - 1.2.6) - Branco
 - 1.2.7) - Voltar atrás
- 1.3) - Voltar atrás

2) – Programação

- 2.1) - Agendar referência
 - Indique o código:
 - Indique a quantidade:
 - Indique a data de entrega:
- 2.2) - Cores a programar
 - 2.2.1) – Vermelho
 - 2.2.1.1) - Sem restrições
 - 2.2.1.2) - Com cumprimento de prazos
 - 2.2.1.3) - Com capacidade dos fornos
 - 2.2.2) – Vermelho+Verde
 - 2.2.2.1) - Sem restrições
 - 2.2.2.2) - Com cumprimento de prazos
 - 2.2.2.3) - Com capacidade dos fornos
 - 2.2.3) – Vermelho+Verde+Amarelo
 - 2.2.3.1) - Sem restrições
 - 2.2.3.2) - Com cumprimento de prazos
 - 2.2.3.3) - Com capacidade dos fornos
 - 2.2.4) – Vermelho+Verde+Amarelo+Azul
 - 2.2.4.1) - Sem restrições
 - 2.2.4.2) - Com cumprimento de prazos
 - 2.2.4.3) - Com capacidade dos fornos
 - 2.2.5) – Vermelho+Verde+Amarelo+Azul+Laranja
 - 2.2.5.1) - Sem restrições
 - 2.2.5.2) - Com cumprimento de prazos
 - 2.2.5.3) - Com capacidade dos fornos
 - 2.2.6) – Voltar atrás
- 2.3) - Fixar produção
 - Indique o número de dias a fixar:
- 2.4) - Voltar atrás

3) – Terminar programa

Figura 12 - Menu da heurística

Como se pode verificar na Figura 12, o menu da heurística construtiva disponibiliza ao operador dois submenus: “Visualização” e “Programação”.

1) Submenu Visualização

Este submenu permite visualizar numa lista as referências da mesma cor, segundo o código de cores anteriormente apresentado. Na Figura 13, encontra-se representado o exemplo de uma destas listas, concretamente as referências de cor vermelha.

Menu > Visualização > Referências por cor > Vermelho

Código	Designação		Qtd em Rutura	Qtd a Produzir	Prazo
6750004005	FUSION BROW	15X75	-4133.0 m2	5200.0 m2	28-04-2015
6750004037	FUSION TORT	15X75	-6304.0 m2	7800.0 m2	25-04-2015
6750007002	WILDWOOD BG	15X75	-1445.0 m2	2600.0 m2	19-05-2015
6750007037	WILDWOOD TORT	15X75	-2526.0 m2	5200.0 m2	15-05-2015
6750008003	WILDWOOD GRY AS	15X75	-642.0 m2	2600.0 m2	22-05-2015
6010382006	PIRINEUS ML	16,5X16,5	-8.0 m2	2000.0 m2	28-04-2015
6230538047	ESSENCE LIGH GRY	22X33	-3796.0 m2	4000.0 m2	30-04-2015
6450047001	SOFT SNOW	22,5X45	-4240.0 m2	5000.0 m2	19-05-2015
6450047003	SOFT SMOKE	22,5X45	-167.0 m2	2500.0 m2	14-05-2015
6450578001	CONCRETE WHITE	22,5X45	-22.0 m2	2500.0 m2	20-05-2015
6450018000	ROY PREC MOS DECO E	22,5X45	-131.0 m2	2500.0 m2	09-05-2015
6450019000	ROY PREC MOS DECO F	22,5X45	-28.0 m2	2500.0 m2	10-05-2015
6450033002	ROYALE LIPICA BG	22,5X45	-37.0 m2	2500.0 m2	22-05-2015
6450033003	ROYALE LIPICA GRY	22,5X45	-113.0 m2	2500.0 m2	07-05-2015
6490004003	PIET DESIRE GRY	22X75	-707.0 m2	1700.0 m2	09-05-2015
6490005034	PLEASURE LIGH BG	22X75	-100.0 m2	1700.0 m2	06-05-2015
6070001010	VEIVIER IVY	31,4X61,2	-47.0 m2	1700.0 m2	27-04-2015

Figura 13 - Exemplo de visualização de lista de referências por cor

Este submenu permite também visualizar a produção fixa. Designa-se por produção fixa, a parte do PP correspondente a um dado horizonte temporal, que já se encontra estabelecida, validada e assumida com a produção, devendo a mesma ser encarada pela heurística como compromisso inalterável. Este horizonte temporal deverá ser anterior à data de início de programação.

2) Submenu Programação

Este submenu dispõe de três opções: “Agendar referência”; “Cores a programar” e “Fixar produção”.

2.1) Agendar referência

A opção “Agendar referência” permite obter o prazo de entrega para uma referência, agendando-a segundo os critérios definidos no algoritmo de programação. Para tal, o operador responsável pela programação da produção, deverá fornecer à heurística o código da referência, a quantidade encomendada e a data máxima para a sua entrega. Nesta opção, depois de determinar a quantidade adequada a produzir, com base na

quantidade encomendada e nos lotes mínimos de produção, o algoritmo tenta agendar a produção da referência em causa para uma data tão próxima quanto possível da data de calendário atual, verificando se existe algum tempo de folga entre as produções das referências já programadas, que permita acomodar a produção da nova referência, sem prejuízo das datas de entrega já definidas. Caso a produção seja possível é emitida uma mensagem com informação da data e linha a que a mesma foi alocada. No caso de não ser possível a produção para a data de entrega definida pelo operador, é emitida uma mensagem de alerta e são solicitados novos parâmetros.

2.2) Cores a programar

A opção "Cores a programar" permite elaborar o PP com as referências da(s) cor(es) escolhida(s) pelo operador. Uma vez escolhida(s) a(s) cor(es) a programar, o operador dispõe de três opções de programação: "Sem restrições"; "Com cumprimento de prazos" e "Com capacidade de fornos".

2.2._1) Programação "Sem restrições"

Na primeira opção, "Sem restrições", o algoritmo verifica sequencialmente, pela ordem que foram lidas do ficheiro "base", as referências que é necessário produzir procedendo à atribuição das mesmas às linhas de conformação e vidragem, de um modo "guloso", bem característico das abordagens construtivas, tal como os autores referem em Widmer, Hertz e Costa (2010). Isto porque as referências são inicialmente distribuídas por todas as linhas capazes de as produzir. Em seguida, é calculado o número de referências atribuídas a cada linha, verifica-se se uma referência está presente em mais que uma linha e em caso afirmativo exclui-a da linha com maior número de referências alocadas. Este procedimento é repetido até que cada referência fique alocada somente a uma e uma só linha. Em seguida o algoritmo procede ao agrupamento das referências de cada uma das linhas por série, juntando as referências pertencentes à mesma série, dentro de cada linha. Segue-se o agrupamento por formato de ferramenta das referências, programando a produção das referências com o mesmo formato (de ferramenta) de tal forma que as mesmas sejam produzidas juntas (umas a seguir às outras). Procede-se de seguida ao agrupamento por formato do conjunto ferramenta-cunhos, de modo semelhante ao agrupamento anterior. Finalmente ordenam-se as referências da linha por ordem crescente da data de entrega, mantendo o agrupamento por formato de ferramenta. Uma vez agrupadas as referências segundo os critérios anteriores, segue-se a ordenação das campanhas de cada linha. Define-se por campanha o conjunto de trabalhos (produções de referências), do mesmo formato de ferramenta, a executar numa linha, num

determinado horizonte temporal. As campanhas são ordenadas por data de entrega crescente da referência crítica de cada uma delas. A referência crítica de uma campanha é a referência com menor data de entrega nessa campanha. Depois de agrupadas e ordenadas as referências, são programados os *setups* de troca de formato (troca de ferramenta), sempre que ocorrem transições entre campanhas na mesma linha. Resumidamente, a programação “Sem restrições” segue os seguintes passos:

- Determinar as referências a programar
- Distribuir as referências pelas linhas
- Excluir referências repetidas
- Agrupar referências por série
- Agrupar referências por formato de ferramenta
- Agrupar referências por formato ferramenta-cunhos
- Ordenar referências por data mantendo o formato
- Ordenar campanhas
- Inserir *setups*

2.2._,2) Programação “Com cumprimento de prazos”

A opção “Com cumprimento de prazos”, programa as referências da mesma forma da opção anterior, todavia no final do procedimento verifica se no plano proposto os prazos de entrega estão a ser cumpridos, procedendo à exclusão de todas as referências fora de prazo do plano. Ou seja, verifica se as referências do plano obtido são passíveis de serem produzidas dentro do prazo assumido como prazo máximo de entrega das mesmas. Caso tenham sido excluídas referências do plano de produção proposto, tenta inseri-las em outras posições do calendário de programação (outras linhas e outros dias), verificando se existem dias de folga no calendário de trabalhos das linhas, que permitam inserir as referências fora do prazo e respetivos *setups* de família, caso se justifiquem, sem incorrer no incumprimento dos prazos de entrega das restantes referências. Após a impressão do PP obtido é também impressa uma lista de referências cujo agendamento, dentro dos prazos de entrega, foi impossível mesmo

depois da tentativa de realocação anterior, para que o operador decida o que fazer com elas.

2.2._3) Programação “Com capacidade de fornos”

A opção “Com capacidade de fornos” executa a opção de programação “Com cumprimento de prazos”, com a particularidade de verificar a capacidade dos fornos, coisa que a opção anterior não faz. O algoritmo encontra-se construído de forma a impelir a produção do maior número de referências possível em cada semana, antecipando o mais possível as produções, pelo que o enchimento dos fornos é habitualmente garantido. Desprezou-se a verificação automática (efetuada pela heurística) da carga mínima dos fornos, uma vez que a atual procura de mercado é superior à oferta da empresa. Caso a situação se inverta, isto é, a oferta passe a ser superior à procura, a heurística optará por programar, embora que muito antes do necessário, as referências com data de previsível necessidade mais próxima. Esta programação antecipada pode ser contrariada pelo operador, alterando a capacidade dos fornos no código da heurística o que na prática se traduziria em desligar fornos. Desta forma, torna-se somente necessário assegurar que não se programa produzir, no conjunto de todas as linhas, uma quantidade superior àquela que os fornos conseguem cozer semanalmente. Caso a capacidade de cozedura semanal seja excedida, o algoritmo tenta adiar as produções do último dia produtivo de cada linha, até que o número de metros quadrados de material cerâmico seja igual ou inferior à capacidade dos fornos, já com a tolerância de 5% incluída. Concretamente o que acontece é o seguinte: o algoritmo vai percorrer sequencialmente todas as linhas e verificar se é possível adiar a produção do último dia produtivo de cada uma delas. Procede ao adiamento caso o mesmo seja possível e passa para a linha seguinte logo após o adiamento da produção, isto caso a capacidade de cozedura

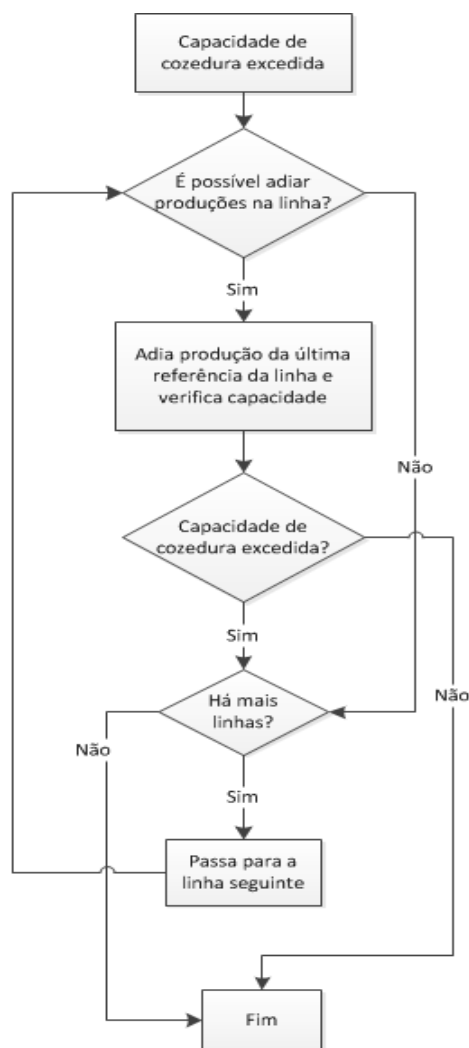


Figura 14 - Fluxograma do procedimento de verificação de capacidade dos fornos

ainda esteja a ser excedida ou no caso de não ser possível adiar a produção de referências nessa linha. Este procedimento encontra-se esquematizado na Figura 14. A produção de uma referência só é adiada para a semana seguinte se o adiamento não prejudicar o cumprimento dos prazos de entrega estabelecidos. Por esta razão, por vezes poderão ser obtidos PP com produção semanal superior à capacidade de cozedura dos fornos. Esta situação é constatável pela análise da capacidade dos fornos, impressa logo após o PP obtido. Entendeu-se manter a produção acima da capacidade dos fornos neste caso, uma vez que o fazer cumprir a capacidade implicaria, obrigatoriamente, a diminuição dos lotes produtivos ou a alteração da data de entrega de referências, alterações estas que terão de ser analisadas caso a caso pelo operador, com base em vários aspetos para os quais a heurística não se encontra preparada. Apresentam-se como exemplos destes aspetos o valor do cliente, a margem de lucro e ciclo de vida da referência, o custo e os constrangimentos associados ao dimensionamento dos lotes, a possibilidade de obter a dispensa de material por parte de outros clientes e deste modo deixar de ser necessária a produção, entre outros.

Na Figura 15 encontra-se representada uma amostra de um plano de produção construído pela heurística, relativo ao PP das linhas 5 e 6 para os dias compreendidos entre 13 de Abril e 3 de Maio de 2015.

DATA	LINHA 5				LINHA 6			
12*13-04-2015	VETIVER IVY AS	50X50	04-05-15	2500	GROUND GREY	30X60	30-04-15	1700
13*14-04-2015	PIET VETIVER IVY	48X48	06-05-15	2500	GROUND GREY	30X60	30-04-15	1700
14*15-04-2015	CANYON GRY AS	50X50	23-05-15	2500	VETIVER IVY	31,4X61,2	04-05-15	1700
15*16-04-2015	VILLA PLATINO AS	50X50	26-05-15	2500	PIET SOUL FLOW GRY	30X60	06-05-15	1700
16*17-04-2015	VAZIO				PIET SOUL FLOW GRY	30X60	06-05-15	1700
18 18-04-2015	VAZIO				VAZIO			
1D 19-04-2015	*****				*****			
12*20-04-2015	SOUL SPIRIT PRL	50X50	29-05-15	2500	PIET SOUL PASSI ANTR	30X60	09-05-15	1700
13*21-04-2015	SETUP				PIET SOUL FEEL WHI	30X60	13-05-15	1700
14*22-04-2015	GROUND TORTORA	59,2X59,2	04-05-15	2500	PIET SOUL FEEL WHI	30X60	13-05-15	1700
15*23-04-2015	PIET PLACE TORT	59,2X59,2	05-05-15	2500	PIET SOUL FEEL WHI	30X60	13-05-15	1700
16*24-04-2015	PLACE GRY	60X60	17-05-15	2500	LAND BG	31,4X61,2	15-05-15	1700
18 25-04-2015	VAZIO				VAZIO			
1D 26-04-2015	*****				*****			
12*27-04-2015	PIET PLACE GRY	59,2X59,2	17-05-15	2500	SOUL BODY BLK	31,4X61,2	17-05-15	1700
13*28-04-2015	PIET PLACE GRY	59,2X59,2	17-05-15	2500	SOUL BODY BLK	31,4X61,2	17-05-15	1700
14*29-04-2015	PLACE GRY	60X60	17-05-15	2500	SOUL PASSION ANTR	31,4X61,2	22-05-15	1700
15*30-04-2015	GROUND TORTORA	60X60	21-05-15	2500	SOUL PASSION ANTR	31,4X61,2	22-05-15	1700
16*01-05-2015	GROUND GREY	60X60	22-05-15	2500	SOUL FLOW GRY	31,4X61,2	25-05-15	1700
18 02-05-2015	GROUND GREY	60X60	22-05-15	2500	SOUL FLOW GRY	31,4X61,2	25-05-15	1700
1D 03-05-2015	*****				*****			

Figura 15 - Aspeto gráfico dos planos de produção impressos pela heurística

Cada linha da tabela obtida corresponde a um dia, agregando cada célula da tabela a informação da descrição da referência, do prazo de entrega e da quantidade a produzir (nesse dia) da respetiva referência.

2.3) Fixar a produção

A opção “Fixar produção” permite, fixar as produções dos n primeiros dias, do último PP obtido, sendo o valor de n inserido pelo operador logo após a escolha desta opção. A fixação da produção só se encontra disponível após a obtenção de pelo menos um PP. Este procedimento (fixar produção) permitirá obter o ficheiro “produção fixa” para posteriores execuções da heurística, uma vez que o mesmo é necessário para a “definição do ponto zero”, logo no início da execução do programa.

4.2 Resultados obtidos e comparação de ambos os métodos de programação

A estadia na Love Tiles, a colaboração com as pessoas responsáveis pelo processo de programação da produção e o acesso às plataformas de informação da empresa, asseguraram a informação necessária para a criação de instâncias reais deste problema. Com o intuito de validar os modelos apresentados, foram feitos testes que consistiram na criação de planos de produção, recorrendo a ambas as abordagens (PIM e Heurística) criadas, para auxiliar na verificação do cumprimento de todas as restrições consideradas. Estes testes medem a capacidade de resposta do PIM e da Heurística perante a situação real, permitindo também a comparação das soluções obtidas pelos dois meios de programação (exata e heurística).

Quer o modelo exato quer a heurística foram testados com o recurso a instâncias de referências agregadoras dos compromissos reais da empresa a 13 de Abril de 2015. Isto é, foi simulada a programação da produção das referências em rutura de *stock* e com prazos de entrega já assumidos com os clientes, ou seja, as referências a vermelho de acordo com o código de cores apresentado anteriormente na Tabela 1. Assim, inicialmente foi criada uma primeira instância - instância pequena - através da seleção aleatória de 42 referências a vermelho, com o intuito de facilitar a análise da performance dos modelos. Uma vez assegurado o seu correto funcionamento, foi construída uma nova instância – instância grande - que integrou todas as referências a vermelho. Na Figura 16 encontram-se alguns dados referentes às duas instâncias consideradas.

	Instância grande	Instância pequena
Nº de referências	100	42
Nº de famílias	14	13
Prazo médio de entrega	33 dias	22 dias
Dimensão média do lote produtivo	3068 m ²	2633 m ²
Dimensão média do lote mínimo	2211 m ²	2157 m ²
Tempo médio de processamento do lote produtivo	1,43 Dias	1,22 Dias
Capacidade máxima dos fornos	73500 M2/semana	

Figura 16 - Características principais das instâncias consideradas

Os dados pormenorizados destas instâncias, podem ser consultados no anexo A deste documento.

Por forma a poder quantificar e comparar as soluções obtidas, por cada um dos processos de programação, recorreu-se a indicadores simples. Para cada uma das soluções obtidas foi contabilizado o nº de *setups* utilizados, o *makespan*, o valor da função objetivo (F.O.), o GAP entre a solução heurística e a solução exata e o tempo de processamento necessário à obtenção de soluções por cada um dos modelos. O *makespan* diz respeito ao número de dias compreendido entre o primeiro e o último dia de programação estabelecidos. O valor da função objetivo é dado pela soma dos instantes de conclusão de cada referência (número de dias incorridos entre o instante inicial de programação e o período para o qual a referência foi agendada) e do tempo total gasto com a realização de *setups* de família. O GAP entre as soluções da heurística e do PIM foi calculado de acordo com a fórmula:

$$GAP = \frac{\text{Valor da F.O. da heurística} - \text{Valor da F.O. do MIP}}{\text{Valor da F.O. do MIP}} \times 100$$

Estes valores encontram-se representados na Figura 17.

	Instância pequena		Instância grande	
	Heurística	PIM	Heurística	PIM
Setups	15	10	18	22
Makespan (dias)	14	13	39	36
Valor F.O.	254	217	1297	1193
Tempo Processamento (segundos)	1	337	2	10800
GAP	+ 17,1%		+8,8%	
Máquinas	Intel core i7 2.0 Ghz, 8 GB de RAM, Windows 7 Pro	Intel core i7 2.4 Ghz, 12 GB de RAM, Windows 7 Pro	Intel core i7 2.0 Ghz, 8 GB de RAM, Windows 7 Pro	Intel core i7 2.4 Ghz, 12 GB de RAM, Windows 7 Pro

Figura 17 - Indicadores de comparação de soluções

O plano de produção obtido pelo PIM para a instância pequena corresponde à solução ótima do problema. O plano obtido pelo mesmo meio para a instância grande, não corresponde à solução ótima mas a uma incumbente: a melhor solução obtida ao final de 3 horas de processamento, situada 1,5% da solução ótima.

Os planos de produção, resultantes da programação da produção, das duas instâncias consideradas nesta análise de resultados, podem ser consultados no anexo B deste documento.

Apesar da qualidade das soluções obtidas com o PIM ser superior à das soluções obtidas com a heurística, face aos seus elevados tempos de resolução, é pouco expectável que o PIM possa vir a ser usado para um efetivo apoio na tomada de decisão no âmbito do contexto real. Contudo, o seu desenvolvimento e teste foi benéfico, pois permitiu aferir a qualidade das soluções obtidas com a heurística.

5. Conclusão e trabalhos futuros

A importância do tema PPP suscitou o interesse de pesquisa de vários autores e levou os mesmos a efetuar diversos trabalhos nesta área, sempre em busca das melhores soluções, recorrendo a vários métodos e diferentes abordagens ao problema. Num mercado global e altamente competitivo, as empresas adotam cada vez mais políticas, metodologias e ferramentas que lhe proporcionem aumentar a sua eficiência operacional e com esta adquirir vantagem competitiva. Neste seguimento, a necessidade de otimização dos processos assume manifesta relevância, apresentando-se muitas vezes como a chave para o sucesso procurado.

O objetivo principal deste trabalho focou-se no desenvolvimento de ferramentas que auxiliassem os responsáveis pela programação da produção da Love Tiles a obter boas soluções, complementares ou alternativas, para o PPP, com um dispêndio de tempo inferior ao necessário atualmente pelos meios de programação tradicional. Este objetivo foi cumprido com a criação de uma heurística, que poderá ser considerada gulosa pelo facto de a cada iteração escolher sempre a melhor das opções. Esta heurística, tal como acontece com outras heurísticas e algoritmos não exatos, não garante a obtenção da solução ótima para o problema em estudo, mas fornece soluções admissíveis para o mesmo, no respeitante à obtenção de planos de produção e validação de todas as restrições, com um esforço computacional e período de tempo muito reduzidos. Embora que com um tempo de processamento superior, também o PIM criado permite resolver o PPP, através do fornecimento de soluções de maior qualidade para o mesmo.

Algumas das características do problema foram simplificadas, como a não contabilização dos *setups* de mudança de série e os *setups* de mudança de cunhos, à luz do que é feito na programação tradicional da empresa, não retirando a simplificação validade às ferramentas de apoio à decisão desenvolvidas.

Testaram-se a heurística e o PIM para diferentes datas, necessidades produtivas e número de referências a programar, de forma a analisar como os mesmos influenciam os resultados obtidos, bem como para analisar o tempo de processamento. Não foi possível proceder à comparação dos planos de produção obtidos pela heurística e pelo PIM com os planos da programação tradicional, pelo facto de devido à elevada procura de mercado no período de análise considerado, alguns pressupostos (restrições) da programação da produção terem sido temporariamente descorados, por forma a ser possível dar uma resposta conveniente ao pico de produção registado.

Verificou-se que a produção em campanhas grandes contribui para a eliminação de atividades de valor não acrescentado, nomeadamente *setups* de mudança de ferramenta, melhorando ainda os tempos de resposta na produção de um dado conjunto de referências. Constatou-se ainda que a heurística criada poderá facilmente ser usada para a agilização de várias questões relacionadas com a programação da produção, traduzindo-se mesmo em ganhos significativos de tempo necessário no processo.

Para futuros trabalhos, existem várias oportunidades de melhoria nesta heurística, como efetuar um novo nivelamento dos trabalhos das linhas do plano obtido, através de uma heurística de melhoramento da solução obtida, transferindo trabalhos das linhas com maior carga de trabalho para outras em que existe tempo de folga. Seria também interessante reformular esta heurística conferindo-lhe a capacidade de apresentar sugestões de resolução do PP quando o volume de produção proposto é superior à capacidade de cozedura semanal dos fornos, sempre que não podem ser adiadas produções para as semanas seguintes. Ou seja, a heurística ser capaz de informar o operador das referências cujo prazo de entrega deva ser alterado, por forma a ser possível o agendamento de todas as referências, tendo em consideração a função objetivo do problema.

Relativamente ao modelo de PIM seria interessante estender o mesmo por forma a permitir o agendamento com tempos de *setup* variáveis e a permitir também a inclusão dos tempos de *setup* de sub-família.

Por fim, há ainda a referir que no futuro seria interessante testar o PIM e a Heurística com um maior número de instâncias de teste.

Referências bibliográficas

- Allahverdi, A. (2015). The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs. *European Journal of Operational Research*, 246(2), 345–378.
- Allahverdi, A., Gupta, J. N. D., & Aldowaisan, T. (1999). A review of scheduling research involving setup considerations. *Omega*, 27(2), 219–239.
- Allahverdi, A., Ng, C. T., Cheng, T. C. E., & Kovalyov, M. Y. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*, 187(3), 985–1032.
- Allahverdi, A., & Soroush, H. M. (2008). The significance of reducing setup times/setup costs. *European Journal of Operational Research*, 187(3), 978–984.
- Allen, R. C. (2009). *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge University Press.
- Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms*. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Chaudhry, I. A., & Mahmood, S. (2013). No Title. In *Electrical Engineering and Applied Computing*. Springer Publishing Company, Incorporated.
- Dunstall, S., & Wirth, A. (2005). Heuristic methods for the identical parallel machine flowtime problem with set-up times. *Computers and Operations Research*, 32(9), 2479–2491.
- Eliyi, D. T., & Azizolu, M. (2011). Heuristics for operational fixed job scheduling problems with working and spread time constraints. *International Journal of Production Economics*, 132(1), 107–121.
- Framinan, J. M., Leisten, R., & García, R. R. (2014). *Manufacturing Scheduling Systems: An Integrated View on Models, Methods and Tools*. Springer London.
- Goldberg, M. C., & Luna, H. P. L. (2005). *Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos*. CAMPUS - RJ.
- Harrison, D. K., & Petty, D. J. (2002). *Systems for Planning and Control in Manufacturing Systems and Management for Competitive Manufacture*. Elsevier.
- Herrmann, J. (2006). *Handbook of Production Scheduling*. (J. W. Herrmann, Ed.) *International series in operations research & management science* 89 (Vol. 89). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Hurink, J., & Knust, S. (2001). List scheduling in a parallel machine environment with precedence constraints and setup times. *Operations Research Letters*, 29(5), 231–239.

- Iori, M., & Martello, S. (2008). *Metaheuristics for Scheduling in Industrial and Manufacturing Applications. Studies in Computational Intelligence* (Vol. 128).
- Kumar, S. A., & Suresh, N. (2009). *Operations Management*. New Age International Publishers.
- Li, C. L., & Wang, X. (2010). Scheduling parallel machines with inclusive processing set restrictions and job release times. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 702–710.
- McKay, K. N., & Wiers, V. C. S. (2004). *Practical Production Control: A Survival Guide for Planners and Schedulers*. J. Ross Pub.
- Mokoto, E. (1999). Scheduling to minimize the makespan on identical parallel machines: an LP-based algorithm. *Investigacion Operative*, 8, 97–107.
- Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Springer Publishing Company, Incorporated.
- Pinto, J. P. (2008). *Lean Thinking - Introdução ao Pensamento Magro*. Comunidade Lean Thinking.
- Porter, M. E. (2008). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Rostami, M., Pilerood, A. E., & Mazdeh, M. M. (2015). Multi-objective parallel machine scheduling problem with job deterioration and learning effect under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 206–215.
- Sivrikaya-Serifoglu, F., & Ulusoy, G. (1999). Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties. *Computers & Operations Research*, 26, 15.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management*. Pearson Education Limited.
- Stevenson, W. J. (2011). *Operations Management* (11th ed.). McGraw-Hill College.
- T'kindt, V., Billaut, J.-C., & Proust, C. (2001). Solving a bicriteria scheduling problem on unrelated parallel machines occurring in the glass bottle industry. *European Journal of Operational Research*, 135, 42–49.
- Unlu, Y., & Mason, S. J. (2010). Evaluation of mixed integer programming formulations for non-preemptive parallel machine scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 785–800.
- Wee, H.-M. (2000). Computer-Aided and Integrated Manufacturing Systems. In C. Leondes (Ed.), *Computer-Aided Design, Engineering, and Manufacturing Systems Techniques and Applications, Volume IV, Optimization Methods for Manufacturing*. CRC Press.

- Widmer, M., Hertz, A., & Costa, D. (2010). Metaheuristics and Scheduling. In *Production Scheduling* (pp. 33–68).
- Wight, O. W. (1984). *Manufacturing resource planning: MRP II : unlocking America's productivity potential*. Oliver Wight.
- Zanakis, S. H., & Evans, J. R. (1981). Heuristic “Optimization”: Why, When, and how to use it. In *Interfaces* (Vol. 11). Sciences, The Institute of Management.

Anexos

Anexo A - Instâncias de referências

A1. Instância pequena

Código	Prazo de entrega	Prazo (em dias)	Quantidade a produzir (m2)	Linhas compatíveis (linha 1,..., linha 11)	Lote mínimo (m2)	Dias de produção	Famílias
6290074001	17-04-2015	5	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	35x70
6290041095	20-04-2015	7	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	35x70
6750004037	25-04-2015	12	7800	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	3	15x75
6070001010	27-04-2015	13	1700	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	1	30x60
6750004005	28-04-2015	14	5200	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	2	15x75
6140005001	28-04-2015	14	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	30x60
6040554001	28-04-2015	14	2500	0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	45x45
6010382006	28-04-2015	14	2000	1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0	2000	1	16x16
6050382006	29-04-2015	15	2000	0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0	2000	1	33x50
6230538047	30-04-2015	16	4000	0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0	2000	2	22x33
6070002003	30-04-2015	16	5100	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	3	30x60
6040547008	03-05-2015	18	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	45x45
6040527043	02-05-2015	18	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	45x45
6460008078	05-05-2015	20	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	45x45
6350017002	05-05-2015	20	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1	1700	1	35x100
6140003001	05-05-2015	20	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	30x60
6490005034	06-05-2015	21	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	22x75
6140004003	06-05-2015	21	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	30x60
6450033003	07-05-2015	22	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6040186019	07-05-2015	22	5000	0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0	2500	2	45x45
6050260010	08-05-2015	23	2000	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2000	1	33x50
6490004003	09-05-2015	24	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	22x75
6450019000	10-05-2015	24	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6450018000	09-05-2015	24	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6350005000	11-05-2015	25	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1	1700	1	35x100
6200073031	11-05-2015	25	1700	0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0	1700	1	35x35
6150004033	11-05-2015	25	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6120005033	13-05-2015	27	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6450047003	14-05-2015	28	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6750007037	15-05-2015	29	5200	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	2	15x75
6350046078	15-05-2015	29	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1	1700	1	35x100
6290090005	15-05-2015	29	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	35x70
6060545002	15-05-2015	29	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	50x50
6350048003	16-05-2015	30	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1	1700	1	35x100
6150007031	16-05-2015	30	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6060545003	16-05-2015	30	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	50x50
6290083031	18-05-2015	31	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	35x70
6200069003	18-05-2015	31	1700	0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0	1700	1	35x35
6750007002	19-05-2015	32	2600	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	1	15x75
6350005001	20-05-2015	33	3400	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1	1700	2	35x100
6150007001	20-05-2015	33	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6200069043	21-05-2015	34	1700	0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0	1700	1	35x35

A2. Instância grande

Código	Prazo de entrega	Prazo (dias)	Quantidade a produzir (m2)	Linhas compatíveis (linha 1,..., linha 11)	Lote mínimo (m2)	Dias de produção	Famílias
6750007001	29-04-2015	15	5200	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	2	15x75
6760003003	30-04-2015	16	3400	0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0	1700	2	30x60
6770001037	01-05-2015	17	2000	0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1	2000	1	20x60
6450016001	01-05-2015	17	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6450554001	01-05-2015	17	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6770001047	02-05-2015	18	4000	0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1	2000	2	20x60
6750005037	02-05-2015	18	2600	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	1	15x75
6060002006	02-05-2015	18	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	50x50
6690003003	04-05-2015	19	1700	0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1	1700	1	30x60
6070001010	04-05-2015	19	1700	0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0	1700	1	30x60
6690015078	04-05-2015	19	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1	1700	1	30x60
6060001010	04-05-2015	19	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	50x50
6150007037	04-05-2015	19	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6750004005	05-05-2015	20	5200	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	2	15x75
6010382006	05-05-2015	20	2000	1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0	2000	1	16x16
6140005001	05-05-2015	20	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	30x60
6040186019	05-05-2015	20	5000	0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0	2500	2	45x45
6150004002	05-05-2015	20	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6360001010	06-05-2015	21	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	50x50
6750005005	06-05-2015	21	2600	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	1	15x75
6310015003	06-05-2015	21	3400	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	2	30x60
6050382006	06-05-2015	21	2000	0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0	2000	1	33x50
6290074001	07-05-2015	22	6800	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	4	35x70
6690016003	07-05-2015	22	1700	0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1	1700	1	30x60
6310015033	09-05-2015	24	1700	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	1	30x60
6040547008	10-05-2015	24	2500	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	2500	1	45x45
6490004002	11-05-2015	25	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	2500	1	22x75
6350017031	11-05-2015	25	3400	0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0	1700	2	35x100
6290041095	12-05-2015	26	3400	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	2	35x70
6690016001	12-05-2015	26	6800	0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1	1700	4	30x60
6350017002	12-05-2015	26	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1	1700	1	35x100
6490005034	13-05-2015	27	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	22x75
6310015001	13-05-2015	27	5100	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	3	30x60
6680017003	15-05-2015	29	1700	0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1	1700	1	30x60
6070007002	15-05-2015	29	1700	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	1	30x60
6050260010	15-05-2015	29	2000	0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0	2000	1	33x50
6450018000	16-05-2015	30	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6490004003	16-05-2015	30	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1	1700	1	22x75
6120005003	17-05-2015	30	5000	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	2	60x60
6150004003	17-05-2015	30	5000	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	2	60x60
6450019000	17-05-2015	30	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6070002009	17-05-2015	30	3400	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	2	30x60
6350005000	18-05-2015	31	1700	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1	1700	1	35x100
6450047003	21-05-2015	34	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6450025001	21-05-2015	34	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45
6120006037	21-05-2015	34	2500	0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0	2500	1	60x60
6070002033	22-05-2015	35	3400	0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0	1700	2	30x60
6230538001	22-05-2015	35	8000	0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0	2000	4	22x33
6750007037	22-05-2015	35	5200	0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0	2600	2	15x75
6450025066	22-05-2015	35	2500	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0	2500	1	22x45

Anexo B - Planos de produção

B.1. Plano de produção “heurístico” para a instância pequena

Período	Linha 1		Linha 2		Linha 3		Linha 4		Linha 5		Linha 6		Linha 7		Linha 8		Linha 9		Linha 10		Linha 11		
	Referência	m2	Ref.	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Ref.	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	
1	6010382006	2000			6040554001	2500	6750004037	7800	6140005001	1700	30x60				22x33		35x70		22x75		6350005000	1700	
2					6040186019	5000			6140003001	1700	6070001010	1700			6230538047	4000	6290041095	1700	6490005034	1700	63500048003	1700	
3									6140004003	1700							6290090005	1700	6490004003	1700	6350005001	1700	
4							6750004005	2600	45x45		6070002003	5100			22x45		35x100						
5					6050382006	2000			6040547008	2500					6450047003	2500	6350017002	1700	64500033003	2500			
6					6050260010	2000					45x45				6450018000	2500	6350046078	1700	35x70		5900	5100	
-		2000		0		11500		10400		7600		6800	0		6450019000	2500			62900083031	1700			
7							"	2600	60x60		6040527043	2500							62900074001	1700			
8									6150004033	2500	6460008078	2500											
9							6750000737	5200	6120005033	2500	35x35												
10									6150007031	2500	6200073031	1700											
11									6150007001	2500	6200069003	1700											
12									50x50		6200069043	1700					0				0		
-		0	0	0	0	0	10400		10000		10100		0		2500		0		3400		0		
13									6060545002	2500	50x50												
14											6060545003	2500											
15																							
16																							
17																							
18				0						2500			0										
-		0	0	0	0	0	0	0		2500		2500		0		0		0		0		5000	
		Total																				Total	
																						65100	
																						36400	
																						5000	

B2. Plano de produção “ótimo” para a instância pequena

Período	Linha 1		Linha 2		Linha 3		Linha 4		Linha 5		Linha 6		Linha 7		Linha 8		Linha 9		Linha 10		Linha 11	
	Referência	m²	Ref.	m²	Referência	m²	Referência	m²	Referência	m²	Referência	m²	Ref.	m2	Referência	m²	Referência	m²	Referência	m²	Referência	m²
1	6010382006	2000			6040554001	2500	6750007002	2600	60x60		6060545003	2500			22x33		35x70		22x45		6350017002	1700
2					6040186019	5000	6750004005	5200	6150007001	2500	6060545002	2500					6290041095	1700	6450047003	2500	6350048003	1700
3									6150007031	2500	35x35						6290090005	1700	6450019000	2500	6350005000	1700
4					33x50		6750007037	5200	6120005033	2500	6200069003	1700					6290074001	1700	6450018000	2500	6350046078	1700
5					6050382006	2000			6150004033	2500	6200073031	1700					6290083031	1700	6450033003	2500		
6									30x60		6200069043	1700							22x75			
-		2000	0	9500		13000			10000		10100		0		4000		6800		10000		6800	
7									6140005001	2500	45x45								6490004003	1700		
8							6750004037	7800	6140004003	2500	6040547008	2500							6490005034	1700	6350005001	3400
9									6140003001	2500	6460008078	2500										
10									6070001010	1700	6040527043	2500										
11									6070002003	1700	33x50											
12									"	1700	6050260010	2000										
-		0	0	0	0	7800			14300		9500		0		0		0		3400		3400	
13									"	1700												

B3. Plano de produção “heurístico” para a instância grande

Período	Linha 1		Linha 2		Linha 3		Linha 4		Linha 5		Linha 6		Linha 7		Linha 8		Linha 9		Linha 10		Linha 11	
	Referência	m2	Ref.	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Ref.	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2
1	6010382006	2000			6040186019	5000	6750007001	5200	6060001010	2500	30x60	6760003003	1700			22x45	6450016001	2500	6770001037	2000	66900015078	1700
2									6060001010	2500	6760003003	1700				6450016001	2500	6770001047	4000	35x70		
3					6040554001	2500	6750005037	2600	6360001010	2500	6760003003	1700				6450540001	2500					
4					33x50		6750000405	2600	6060545003	2500	6070001010	1700				6450047003	2500	22x75		6290074001	5100	
5									6060002047	2500	6310015003	3400				6450047001	2500	64900004002	1700			
6																30x60						
-	2000		0			7500	10400			10000	8500		0			10000		7700		6800	8500	
7					6050382006	3400	6750000405	2600	6060519010	2500	6310015033	1700				66900003003	1700	6490005034	1700	"	1700	
8							6750000505	2600	60x60									6490004003	1700			
9									6150007037	2500	6310015001	5100				6690016003	3400	35x100		6290041095	3400	
10					6050260010	3400	67500007037	5200	6150004002	2500						6690016001	3400	6350048002	3400	22x45		
11							67500008037	2600	6120005003	2500	6070007002	1700						35x70		6450033043	2500	
12																		35x70		6450033003	2500	
-	0		0			6800	13000			10000	8500		0			8500		6800		10100	8500	
13							67500007002	2600	61500004003	5000	6070002009	3400				"		6290090005	1700	6450578001	2500	
14							67500008003	2600	6120005003	2500	6070002033	3400						6290083031	1700	6450033002	2500	
15									6120006037	2500						66900003005	1700					
16																22x33						
17																						
18									6120006003	5000	6070002003	3400				6230538001	4000					
-		0	0			0	15600			15000	10200		0							3400	5000	
19							5200		61500007031	2500	"	1700				"	4000					
20									61500008031	2500	35x35											
21									6120005033	2500	6200069003	3400				6230538047	4000					
22									6150007001	2500												
23									61500004033	2500	6200073031	1700										
24									61500004047	2500	6200069043	1700										
-		0	0		0	0	5200			15000	8500		0			8000		0		0	0	
25									61500004047	2500	45x45											
26									61500008001	2500	6040527043	2500										
27									30x60		6040570033	2500										
28									6140001002	2500	6460008078	2500										
29									61400003002	2500	6040527001	2500										
30									6140003033	2500	6040578047	2500										
-		0	0		0	0	0		12500			12500		0		0		0		0	0	
31									61400003001	2500	50x50											
32									61400004003	2500	6060508010	2500										
33									45x45		6060545002	2500										
34									6040570047	2500	6360001003	2500										
35																						
36																						
-		0	0		0	0	0			7500	7500		0			0		0		0	0	

B4. Plano de produção “ótimo” para a instância grande

Período	Linha 1		Linha 2		Linha 3		Linha 4		Linha 5		Linha 6		Linha 7		Linha 8		Linha 9		Linha 10		Linha 11	
	Referência	m2	Ref. m2		Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Ref. m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	Referência	m2	
1	6010382006	2000																6770001037	2000	6690015078	1700	35x100
2																		35x70	22x45	22x45	6350005000	1700
3																		6290090005	1700	6450033043	2500	6350017002
4																		6290080031	1700	6450033003	2500	6350046078
5																				6450025001	2500	6350048003
6																						
-		2000	0															5400			9200	6800
7																		6290083031	1700	6450033002	2500	6490005034
8																		6290041095	3400	6450578001	2500	6490004002
9																				6450016001	2500	3400
10																		20x60		6450019000	2500	6490004003
11																				6450554001	2500	35x100
12																				6450025066	2500	
-		0	0															5100			15000	6800
13																		6770001047	4000	6450047003	2500	6350048002
14																				6450018000	2500	3400
15																				6450047001	5000	
16																						
17																						
18																		35x70				
-		0	0															4000			10000	3400
19																						
20																						
21																						
22																						
23																						
24																						
-		0	0																			
25																						
26																						
27																						
28																						
29																						
30																						
-		0	0																			
31																						
32																						
33																						
34																						
35																						
36																						
-		0	0																			
																	</					